www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

JAARGANG 23, 1961, no. 7/8 blz. 201-276 Verschenen: 27 november 1961

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELEND TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUKTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

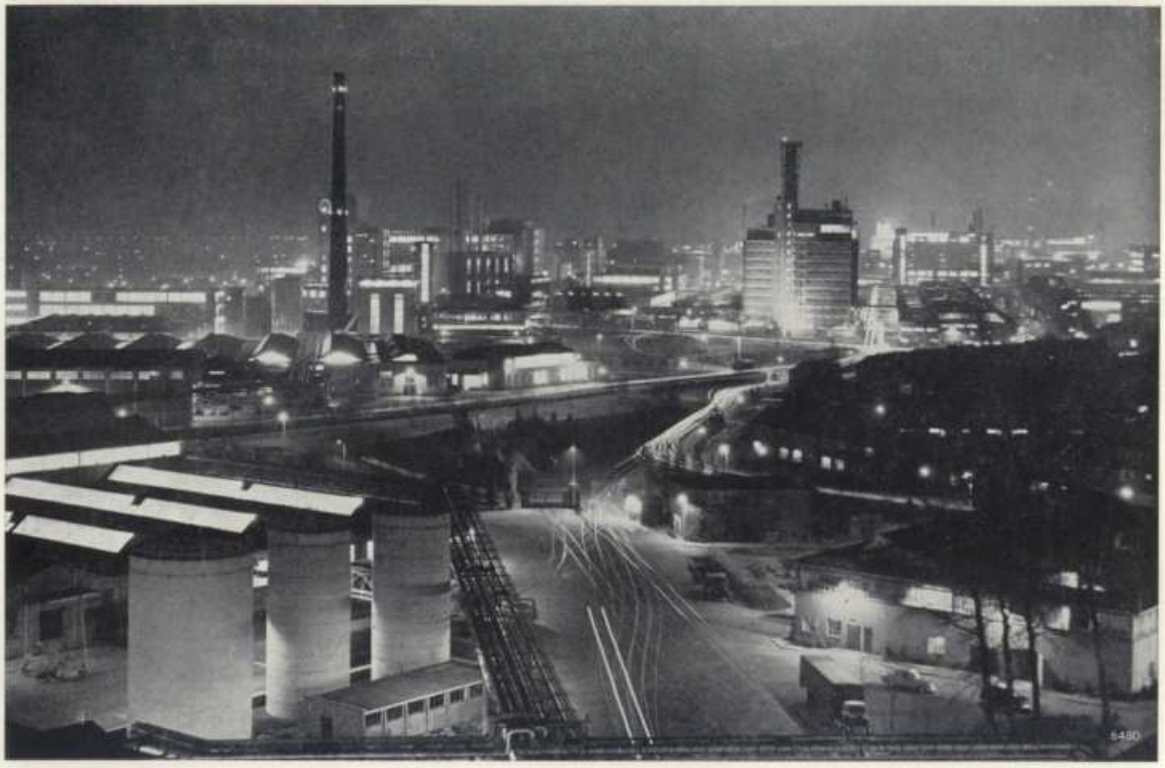


Foto M. Broomfield

Het elektrische licht is het eerste en gedurende ongeveer 30 jaren ook het enige produkt van de Philipsfabrieken geweest. Hoewel nadien het programma van onderzoek en produktie van deze onderneming zich heeft uitgebreid tot talrijke andere gebieden, is de activiteit op het gebied van het licht steeds een hoeksteen in haar bestaan gebleven. In dit nummer van ons tijdschrift worden enkele facetten van die activiteit belicht. De gloeilamp, een produkt waarvan men zou menen dat alle mogelijkheden nu wel voldoende waren bekeken, blijkt voor een nieuwe, diep in de gehele bouw van de lamp ingrijpende ontwikkeling vatbaar te zijn. Ook de constructie van de natriumlamp, gedurende lange jaren tot een geijkte vorm verstard, is als gevolg van nieuwe technologische mogelijkheden weer op de helling gezet; thans bereikt men hiermee lichtrendementen (van de lamp zonder voorschakelapparaat) van 130 lumen/watt of nog meer. Diverse moderne lichtbronnen passeren de revue in een artikel dat de tegenwoordige stand van de straat- en wegverlichting behandelt. In de ontwikkeling van voorschakelapparaten — een zijlijn van de lampenfabricage — gaat men over tot het gebruik van „vastestofthyratrons", waardoor de toepassingsmogelijkheden van „TL" lampen worden verruimd. Als voorbeeld van de hulpmiddelen waarvan men zich bij het ontwikkelen van nieuwe lamptypen bedient, wordt een apparatuur beschreven die automatisch de isocandeladiagrammen van bundellichten optekent.

Als inleiding tot deze reeks artikelen die over episodes aan het tegenwoordige front van de activiteiten van Philips op lichtgebied handelen, plaatsen we een relaas over episodes uit het begin van dit alles: een korte historie van de oprichting der Philipsfabriek in 1891, gedocumenteerd met een aantal brieven van de stichter, Gerard Philips.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

HET ONTSTAAN VAN EEN GLOEILAMPENFABRIEK IN 1891

door N. A. HALBERTSMA *). 621.326.6(091)

De mogelijkheid om historie te schrijven, hangt van toevalligheden af. Wie een belangrijk initiatief neemt, of wie bezeten is van een idee en worstelt om dit te realiseren, voelt in het algemeen niet de behoefte, zijn motieven op schrift te stellen of een beschrijving te geven van de omstandigheden waaronder hij zijn werk begint — de mogelijkheden, wenselijkheden en beperkingen van zijn tijd. Dientengevolge is de historicus, die uiteraard niet genoegen wil nemen met het halen van feiten en bijbehorende data uit officiële documenten, voor het reconstrueren van motieven en omstandigheden meestal aangewezen op impliciete informatie uit allerlei bronnen, met name uit toevallig bewaard gebleven contemporaine geschriften.

Voor de geschiedenis van de stichting van de Philipsfabrieken is een rijke bron van zulke informatie gevonden in een kopieboek, dat de brieven bevat die de stichter Gerard Philips in de tijd van april 1889 tot april 1892 aan tal van personen heeft geschreven. Dit boek zelf is bij het bombardement op de Eindhovense fabrieken in 1942 verloren gegaan, doch alle nog voldoend leesbare brieven hierin waren kort tevoren in een aantal exemplaren overgetikt; de onderneming had toen immers al een leeftijd en omvang bereikt die aanleiding konden geven zich erop te bezinnen, hoe het begin was geweest.

Aan de hand van dit kopieboek, en natuurlijk met gebruik van vele algemene gegevens over de desbetreffende jaren, ten dele verkregen uit boeken (zie de vermelde literatuur), wordt in het onderstaande getracht, een globaal beeld te ontwerpen van de omstandigheden waaronder een gloeilampenfabriek, de fabriek van Philips, in 1891 ontstond. Enkele van de brieven, die als historisch document interessant zijn, worden hier in extenso weergegeven.

Het begin van de elektrotechniek

De ontplooiing van de techniek sinds de 18de eeuw berust voor een belangrijk deel op de exploitatie van natuurlijke energiebronnen: stoomkracht, waterkracht, gas en olie, en op de toepassing van energie-omzettingen door het medium van de elektriciteit. Door stoom- en waterkracht kwam de industrie tot ontwikkeling. Olie, gas en elektriciteit daarentegen werden in eerste instantie gebruikt voor verlichting.

Olielampen waren natuurlijk al in de Oudheid bekend. Aan het eind van de 18de en in het begin van de 19de eeuw ontstonden allerlei geperfectioneerde vormen hiervan. In 1813 begon men de straten van Londen en Parijs met gas te verlichten, in 1826 die van Berlijn. Voor de gasverlichting op straat en in de huizen was het essentieel dat, van de gasfabriek uit, het gas door een net van buizen over de stad werd gedistribueerd. Eind 1815 lag er in Londen al 40 km gasleiding.

In die tijd waren de fundamentele ontdekkingen voor het opwekken van elektriciteit en het produceren van elektrisch licht reeds gedaan. Omstreeks 1800 had Davy het intense licht van de elektrische boog tussen koolelektrodes waargenomen, en in het eerste kwart van de 19de eeuw werd herhaaldelijk het licht gedemonstreerd dat men kon verkrijgen met een door elektrische stroom verhitte platinadraad. Maar zolang de stroom geleverd moest worden door een paar honderd of duizend koper-zinkelementen, kon er van een praktische toepassing geen sprake zijn. In de tweede helft van de 19de eeuw, na de uitvinding en vervolmaking van de dynamo-elektrische machine (door Nollet, Holmes, Gramme, Siemens e.a.) kon men ernst maken met de toepassing van de elektrische lichtboog, die door zijn grote helderheid zulke belangrijke mogelijkheden bood. Het booglicht werd met succes ingevoerd voor vuurtorens (voor het eerst in 1862 in het South Foreland Lighthouse), voor militaire zoeklichten, voor toneelverlichting.

In al deze gevallen betrof het de combinatie van een stroomopwekker met één lichtbron. Het idee om, evenals met gas gedaan was, de elektriciteit te verdelen — dus een aantal verspreide, openbare of particuliere lichtbronnen te voeden door één dynamo — lag voor het grijpen, maar dit ging niet zo gemakkelijk als men nu zou menen. Jablochkoff deed een eerste stap in die richting, toen hij in 1877 de Grands Magasins du Louvre en in 1878 o.a. de Avenue de l'Opéra te Parijs verlichtte met een groot aantal in serie geschakelde booglampen van het door hem uitgevonden type (de zg. kaars van Jablochkoff). Maar deze oplossing bleek verre van ideaal, het licht fluctueerde te veel, er was geen denken aan op deze wijze — met booglampen en met serie-schakeling — het elektrische licht in de huizen van particulieren te brengen.

*) Vroeger verbonden aan N.V. Philips, Eindhoven, en Oudhoogleraar in de Verlichtingskunde te Utrecht.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

In 1879 begon in München de Zeitschrift für „angewandte Elektrizitätslehre" te verschijnen, een woord dat we nu met elektrotechniek zouden vertalen en dat destijds voor het eerst werd gebruikt door Werner Siemens bij zijn voorstel, een vereniging op te richten voor het contact tussen de werkers op dit gebied. Hij verwachtte dat hierdoor uit de verschillende reeds aanwezige bouwstenen van de „angewandte Elektrizitätslehre" een groot en hecht gebouw zou ontstaan. De vereniging kwam er inderdaad (de Elektrotechnische Verein Berlin, in 1893 opgegaan in de V.D.E.), maar nog voordat hier verdere stappen ter aanwending van de „Elektrizitätslehre" konden worden gedaan, verraste één man — Thomas Alva Edison — de wereld tegen het einde van 1879 met een volledige oplossing voor het probleem van de „verdeling van het elektrische licht".

Edison's systeem van elektrische verlichting

Edison had het probleem in zijn volle omvang gezien en het op alle punten tegelijk aangepakt. Het is begrijpelijk dat hij zich niet toelegde op verbetering van de booglamp, waarvan zelfs de kleinste eenheid nog te sterk was voor de huiskamer en waarvan het gebruik zoveel complicaties meebracht, maar dat hij zijn aandacht concentreerde op de gloeilamp. Twijfel zoals nog in 1878 door de Engelse fysicus Sylvanus Thompson werd uitgesproken („any system depending on incandescence will fail"), bracht hem niet van zijn stuk. Na jarenlange proeven, aanvankelijk met gloeidraden van platina, later met verkoolde bamboevezels, waarmee Göbel in 1846 reeds had geëxperimenteerd, gelukte het hem lampen met reproduceerbare eigenschappen te maken: een lichtrendement van 0,2 kaars per watt, een levensduur [1]) van 200-300 uur, een lichtsterkte van 10 of van 16 kaars. Maar dit was slechts één kant van Edison's werk. De andere kant was het volledig uitwerken van het systeem van de parallelschakeling (in welke richting overigens reeds eind 1878 door Brush een stapje was gedaan bij de booglampenverlichting van Wanamaker's Store in Philadelphia). Alleen dit systeem, waarbij dus niet de spanning maar de stroom wordt onderverdeeld, maakte het praktisch mogelijk de lampen of andere stroomverbruikende toestellen afzonderlijk in en uit te schakelen en kon daardoor tot een succesvolle distributie leiden. Edison's lampen waren aangepast bij dit systeem: zij hadden door het gebruik van lange dunne draden een grote elektrische weerstand. Deze essentiële gedachte, waardoor zijn lampen zich onderscheidden van die van Swan en anderen, die alle nog van het idee van de serieschakeling waren uitgegaan, had Edison neergelegd in zijn belangrijkste octrooi, dat van 10 nov. 1879 dateert („. . . electric lamps giving light by incandescence, which lamps shall have a high resistance so as to allow of the practical sub-division of the electric light . . ."). Om het systeem te realiseren, moesten volgens Edison's plan vanuit een elektriciteitsfabriek, waar men naar gelang van de behoefte enige dynamo's parallel kon schakelen, in de straten gelegde geïsoleerde koperen staven, buizen of kabels, zich vertakkend in dunnere leidingen, de stroom naar fabrieken, winkels en huizen brengen, net zoals dat met het gas in het buizennet van de gasfabriek geschiedde. Elk onderdeel van de hierbij nodige installaties moest door Edison ontworpen worden. De lampvoet, waarmede men ook nu nog miljoenen gloeilampen in hun houders schroeft, is de Edison-voet. Hij vond de smeltveiligheid uit, die een tak van het net automatisch uitschakelt wanneer hierin overbelasting of kortsluiting optreedt. Hij verbeterde het magnetisch circuit van de dynamomachine zodanig dat hiermee een rendement van 90% en nog meer werd verkregen, in plaats van de voordien bereikte waarden van ca. 50%. Ook een elektriciteitsmeter, waarmede men het verbruik vaststelde door wegen van elektrolytisch neergeslagen koper, behoorde tot de reeks van uitvindingen waardoor Edison eind 1879 aan de wereld een bruikbaar systeem voor de elektrische verlichting kon presenteren.

Terwijl Edison in de Verenigde Staten overging tot het fabriceren van al deze onderdelen voor zijn installaties, vestigde hij de aandacht van de Oude Wereld op zijn systeem door een spectaculaire inzending op de in 1881 gehouden eerste Internationale Elektriciteitstentoonstelling in Parijs (waar overigens ook verscheidene andere gloeilampenfabrikanten hun produkten lieten zien, zoals Swan, Lane-Fox, Maxim en Siemens; zie *fig. 1*). Edison liet er zijn eerste grote dynamo draaien, die met de bijbehorende stoommachine 25 ton woog, een vermogen van 70 kW leverde en hiermee 1000 lampen van 16 kaars voedde. Zijn lampen werden toen al in massa gefabriceerd — in de eerste 15 maanden had hij er 80 000 verkocht, tegen een aanvankelijke prijs van ca. *f* 8,— per stuk. Op 4 sept. 1882 begon

[1]) De betekenis van de opgegeven waarden voor de levensduur is aan twijfel onderhevig, daar de definitie van dit begrip toen nog moest uitkristalliseren. In latere jaren gaf men voor kooldraadlampen als „nuttige levensduur" op: het aantal branduren tot de lichtuitzending was gedaald tot 80% van de beginwaarde (door het zwartworden van de ballon). Het aantal branduren tot het bezwijken van de draad kon wel vele malen langer zijn.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

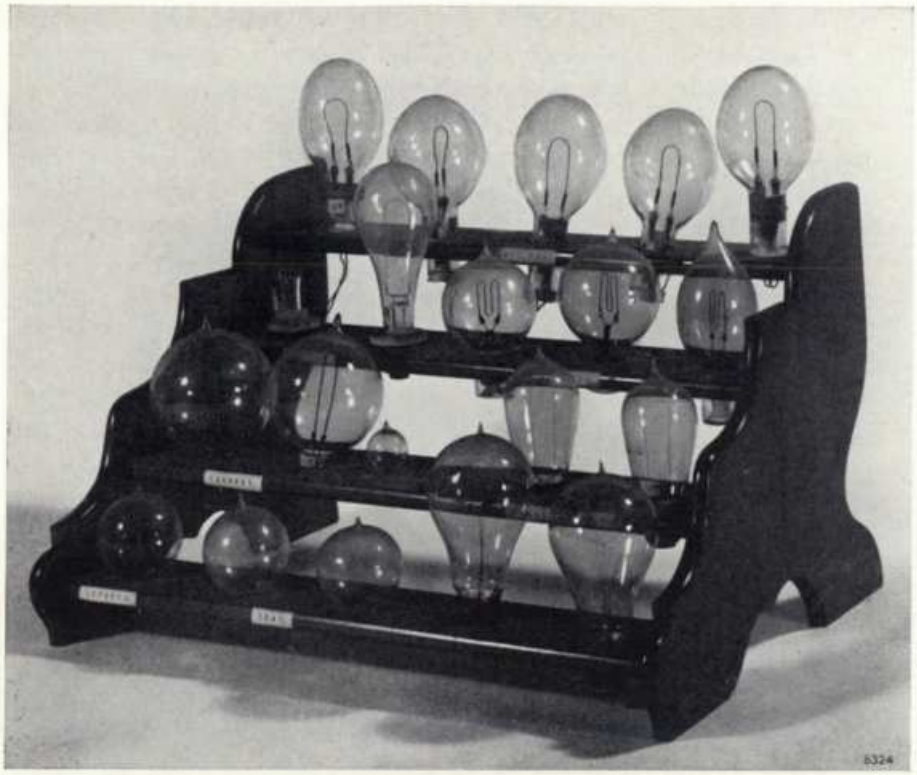


Fig. 1. Verzameling van 20 gloeilampen, in 1881 door de Teyler Stichting gekocht op de Tentoonstelling te Parijs. Er bevinden zich lampen bij, vervaardigd door Edison, Swan, Lane-Fox, Maxim en Siemens. (Reproduktie met toestemming van Teyler's Museum, Haarlem.)

Edison in New York met het leveren van elektriciteit op grote schaal door de centrale Pearl Street, eerst met één, later met zes van de genoemde grote aggregaten. In 1890 verwoestte een brand, door kortsluiting der kabels ontstaan, deze centrale, die wereldvermaard geworden was; maar inmiddels waren Edison Electric Illumination Companies reeds in vele andere grote steden der V.S. begonnen met de levering van elektriciteit. De prijs voor de gloeilamp was in die jaren gedaald tot *f* 0,40-0,60, de levensduur was verhoogd tot 450 uren, het lichtrendement tot 0,3 kaars per watt. Deze eigenschappen waren ook in 1913 nog de normale voor kooldraadlampen [2]).

Een reeks gloeilampen van verschillende types, die in de eerste 10 jaren door verschillende fabrikanten werden vervaardigd, zijn weergegeven in *fig. 2*.

De ontwikkeling der elektrische verlichting in Europa en speciaal in Nederland

Na de Parijse tentoonstelling van 1881 nam de elektrotechniek ook in Europa een stormachtige vlucht. Edison ontwierp de eerste centrale voor Londen (Holborn) in 1882. De Duitse industrieel Emil Rathenau verwierf Edison's octrooien en richtte in 1884 de Deutsche Edison Gesellschaft für Angewandte Elektrizität op, die later overging in de Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft (A.E.G.). De reeds bestaande firma Siemens & Halske, specialisten op het gebied van de telegrafie (hun werkplaats hiervoor hadden zij in 1847 opgericht), ging zich toeleggen op het maken van dynamo's en motoren. Schuckert, Bergmann en Kolben, medewerkers van Edison bij het ontwikkelen van het installatiemateriaal, gingen naar Europa om daar te gaan fabriceren. Waar eenmaal elektriciteitsnetten waren geïnstalleerd, kregen ook de booglampen weer betere kansen, nl. overal waar grotere lichtbronnen gewenst waren dan de gloeilampen van 16 kaars. Zo ontstonden in Duitsland fabrieken van booglampen en koolspitsen (Schuckert), elektriciteitsmeters (Aron), schakelaars en lamphouders (Staudt en Voigt), enz.

Ook in andere landen, zoals Engeland, Frankrijk, Zwitserland en Italië, werden centrales volgens Edison's systeem gebouwd en werd daarmee de weg geëffend voor de distributie van elektriciteit in de grotere steden. De situatie op het gebied van de elektrische verlichting in het jaar 1891 kan worden gekenschetst door de volgende tabel van toen in gebruik zijnde aantallen lampen:

	gloeilampen	booglampen
Verenigde Staten	2 800 000	23 500
Londen	600 000 *)	?
Parijs	118 000	6 800
Berlijn	70 000	3 000

*) Een centrale voor dit aantal lampen was in aanbouw.

Hoewel dit korte overzicht uiteraard schromelijk onvolledig moet blijven, zij toch nog een korte blik vergund op het aanlopen van de elektrotechniek op ander gebied dan de verlich-

[2]) Zie b.v.: A. Wilke, Die Elektrizität, 6de ed. (bewerkt door W. Hechler), Spamer, Leipzig 1914. — Lampen met zg. gemetalliseerde kooldraad leverden 0,4 kaars per watt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

ting. Aan het gebruik van de elektriciteit op grote schaal voor chemische processen werd reeds lang gedacht: Deiman en Paets van Troostwijk hadden in 1789 de elektrolyse van water ontdekt [3]), in 1807 had Davy natrium en kalium langs elektrolytische weg bereid, in 1854 had Bunsen op deze wijze aluminium gemaakt, en reeds omstreeks 1840 werd de door verscheidene onderzoekers ontwikkelde galvanoplastiek praktisch toegepast. Ook het gebruik van de elektriciteit voor het overbrengen en verdelen van mechanische energie begon in de jaren '80 actueel te worden. Maar de situatie was in dit laatste opzicht nog onzeker: er waren ook pogingen om in de plaatselijke behoeften aan mechanische energie te voorzien door evenzovele kleine „prime movers", met name kleine heteluchtmotoren. En voor een centrale voorziening in die behoeften maakte Popp in Parijs nog in die jaren een installatie die via een buizennet gecomprimeerde lucht aan gebruikers in de hele stad leverde!

Een mijlpaal in de overbrenging van mechanische energie door elektriciteit was de overbrenging van 100 pk met draaistroom, die door de A.E.G. en de Machinefabriek Oerlikon in 1891 werd gedemonstreerd op de internationale elektriciteitstentoonstelling te Frankfurt a.M.: de generator stond daarbij op 175 km afstand in Lauffen aan de Neckar. Daarmee begon het tijdperk van de draaistroom, en het door Edison toegepaste gelijkstroomsysteem verloor geleidelijk aan betekenis.

Wij moeten tot besluit van deze inleiding onze blik richten op Nederland.

Hier had Willem Smit, wiens naam nu nog verbonden is aan drie belangrijke Nederlandse elektrotechnische industrieën, in 1878 op 18-jarige leeftijd zijn eerste dynamo gebouwd. Hij was hiertoe gekomen nadat hij in het hotel Leygraaf te Rotterdam een booglamp had gezien die door een dynamo van Gramme werd gevoed. Met de door hemzelf gebouwde dynamo en een booglamp van Hefner-Alteneck verlichtte Smit de klinknagelfabriek van zijn vader te Slikkerveer. Dit trok bij andere industriëlen in de buurt zo de aandacht dat hij opdrachten kreeg voor soortgelijke installaties.

In 1882 ging deze pionier der elektrotechniek in Nederland een vennootschap aan met zijn zwager, Adriaan Pot, voor het fabriceren van materiaal voor elektrische verlichting en het exploiteren van elektrische toestellen en verwante artikelen. De jonge onderneming kreeg opdrachten voor de verlichting van schepen met gloeilampen volgens het parallelsysteem, en zij verhuurde ook tijdelijke installaties voor feestterreinen, tentoonstellingen enz. Zelfs de installatie in hotel Coomans te Rotterdam (1884) met 1 booglamp van 60 A en 120 Swan-gloeilampen van 35 kaars was een huurinstallatie. Het hotel betaalde daarvoor elke maand het bedrag dat het anders voor gasverlichting zou hebben uitgeven.

In 1886 werd de elektrische centrale van Willem Smit & Co. te Kinderdijk in werking gesteld — de eerste elektrische centrale in Nederland. In deze centrale stonden twee gelijkstroomdynamo's van 110 V, 200 A, waarbij later nog een wisselstroomdynamo kwam om, via een kabel door de Lek, het

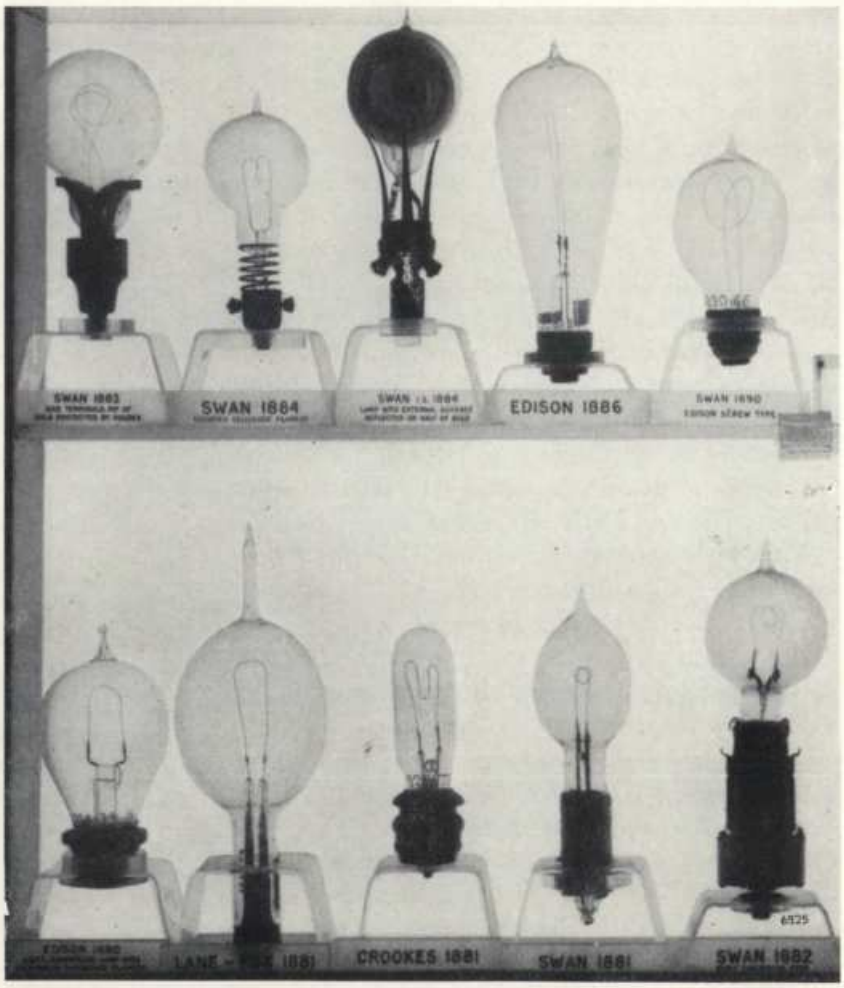


Fig. 2. Een aantal opeenvolgende types van gloeilampen uit de jaren 1880 tot 1890. (Reproduktie met toestemming van Science Museum, Londen.)

[3]) J. R. Deiman en A. Paets van Troostwijk, Beschrijving van eene Elektrizeer-Machine en van Proefnemingen met dezelve in het werk gesteld, Amsterdam 1789.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

aan de overkant gelegen Krimpen te verlichten. Het werk van deze centrale was zeer eenvoudig geregeld. Om 12 uur 's nachts ging het licht uit. Was er echter ergens een feestje, dan draaide de centrale „op tijdig verzoek" een paar uur langer. Het abonnementstarief was gebaseerd op het aantal geïnstalleerde lampen: voor elke lamp van 35 kaars betaalde men *f* 2,50 per maand.

Andere trekjes die licht werpen op de situatie in Nederland en Europa in de jaren waarin Gerard Philips met zijn plannen rondliep, zullen we tegenkomen wanneer we ons nu wenden tot het leven van deze hoofdpersoon van ons relaas.

Eerste stappen van Gerard Philips in de elektrotechniek

Gerard L. F. Philips, de in 1858 geboren oudste zoon van B. F. D. Philips, een te Zaltbommel gevestigde fabrikant en kassier, tevens exploitant van de gasfabriek, studeerde van 1876 af eerst voor civiel en daarna voor werktuigkundig ingenieur aan de toenmalige Polytechnische School in Delft. Hij toonde grote belangstelling voor al het nieuws omtrent de toepassingen der elektriciteit, zowel in Nederland als daarbuiten. Toen hij nog de H.B.S. in Arnhem bezocht, had hij in het Natuurkundig Gezelschap „Wessel Knoops" een reeks voordrachten met demonstraties over dit onderwerp bijgewoond. De spreker, die hem zeer boeide, was een jonge leraar, Dr. H. A. Lorentz — de latere grote theoreticus en Nobelprijswinnaar.

In Delft werd het nieuwe vak nog niet gedoceerd [4]), en toen Gerard het besluit nam, na zijn examen voor de werktuigbouwkunde zich op de elektrotechniek toe te leggen, lag het voor de hand om te trachten nadere kennis op te doen in de praktijk. Daarom vertrok hij als jong ingenieur in 1883 naar Glasgow, om toezicht te houden op het aanleggen van een elektrische lichtinstallatie op het s.s. Prins Willem van Oranje van de Mij. Zeeland. Hierop aansluitend werkte hij een klein jaar in het laboratorium van de natuurkundige William Thomson, de latere Lord Kelvin, en assisteerde deze bij het ontwikkelen van elektrische meetinstrumenten.

Daarna vroeg de directeur van de Brush Electrical Company, die dynamo's en booglampen fabriceerde, Gerard om naar Berlijn te gaan en daar voor zijn onderneming de markt voor deze produkten te verkennen. Het is begrijpelijk dat bij de sterke positie die de inheemse firma's A.E.G. en Siemens op de Duitse markt hadden, deze opdracht niet veel positieve resultaten opleverde.

In Engeland teruggekeerd, legde Gerard in 1887 aan het City and Guilds of London Institute het examen af voor „electric lighting and transmission of power and telegraphy" en verwierf daarbij een „first prize", een zilveren medaille (*fig. 3*). Toen vestigde hij zich in Londen als vertegenwoordiger van enige Duitse elektrotechnische fabrieken.

De nu volgende episode in het leven van Gerard Philips en de ervaringen die hij daarbij opdeed, hebben ongetwijfeld veel ertoe bijgedragen hem het plan te doen opvatten om in Nederland gloeilampen te gaan fabriceren. Hij kreeg van Emil Rathenau, de directeur van de A.E.G., de opdracht, in Amsterdam de belangen van deze firma te behartigen. De opdracht ging verder dan het verkrijgen van orders voor elektrische machines en installaties. Het gemeentebestuur van Amsterdam was van plan een concessie te verlenen voor het bouwen en exploiteren van een elektrische centrale, en daarvoor interesseerde Rathenau zich bijzonder. Gerard moest zowel het gemeentebestuur als leidende personen uit financiële kringen voor Rathenau's aanbieding trachten te winnen. Het was een moeilijke taak, want enerzijds bestond er bij het gemeentebestuur nog verschil van mening over de vorm en de condities van de te verlenen concessie en over de voordelen van gemeentelijke resp. particuliere exploitatie, en anderzijds stelde Rathenau zijn eisen wat betreft de stroomprijs zeer hoog. Hij vroeg 60 cent per kWh, en Gerard voerde in de

Brief I (kopieboek blz. 146).

Hotel Mille Colonnes, Amsterdam. 24.9.1890

Herrn Direktor E. Rathenau,
A.E.G.,
Berlin-N.

Der Antrag von Bürgermeister und Schöffen zur Erteilung einer Concession an „Electra" wurde in der heutigen Rathsitzung genehmigt.

Hiermit nimmt also wohl meine Tätigkeit für die Erwerbung der hiesigen Concession ein Ende, und zwar nicht grad das von mir gehoffte.

Mehrere Räthe, Mitglieder des Ausschusses für die öffentlichen Arbeiten teilten mir confidentiell mit, dass sie es wirklich bedauerten eine Concession an „Electra" erteilen zu müssen, und dass sie, wenn auch Ihr Preis einige wenige Centen höher gewesen wäre als der von „Electra" offrierte, dennoch Ihnen bestimmt den Vorzug gegeben hätten. Die Preisdifferenz sei aber jetzt zu (erheblich *)) gewesen.

Hochachtungsvoll,

G. L. F. Philips

*) Niet met zekerheid leesbaar.

[4]) In het wintersemester 1882/1883 gaf Prof. Dr. E. Kittler aan de Technische Hogeschool in Darmstadt voor het eerst een college over elektrotechniek.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Fig. 3. Zilveren medaille, die Gerard Philips in 1887 verwierf bij het afleggen van het examen aan het City and Guilds of London Institute.

brieven die hij naar Berlijn schreef — ze zijn behouden gebleven in het aan het begin genoemde kopieboek — een hardnekkige strijd om Rathenau te bewijzen dat hij deze prijs moest verlagen. Maar Rathenau gaf niet toe. Toen de concessie in de gemeenteraad werd behandeld, bleek dat een concurrent de stroom tegen 46 ct/kWh wilde leveren, zodat deze de concessie kreeg (zie *brief I*, van 24 sept. 1890).

Spoedig daarna kwam er een eind aan het werken van Gerard voor de A.E.G.

Voorbereidingen voor de oprichting van de fabriek

Gerard Philips was nu 32 jaar oud en het werd tijd, een definitief antwoord te vinden op de vraag, op welke wijze hij in de elektrotechniek broodwinning en voldoening zou kunnen vinden. De niet gemakkelijke samenwerking met Emil Rathenau moet het zelfvertrouwen van Gerard hebben versterkt en tevens het verlangen in hem hebben gewekt, onafhankelijk te zijn en zelf de volle verantwoordelijkheid voor een onderneming te dragen. Zou Nederland niet spoedig, gezien de vlucht van de jonge elektrotechniek, behoefte krijgen aan een eigen elektrotechnische industrie? En zou dat niet in de eerste plaats het geval zijn voor de fabricage van de gloeilamp, die een beperkte levensduur heeft en die dus steeds weer vervangen moest worden?

Gerard Philips was niet de enige die op deze gedachte kwam. Daarvoor waren de optimistische verwachtingen van het elektrische licht te algemeen. In 1890 waren er al vier gloeilampenfabrieken in Nederland opgericht, maar uit de correspondentie blijkt, dat Gerard slechts één daarvan als een ernstige concurrent beschouwde, nl. Goossens & Pope, de fabriek die de Engelsman Pope in maart 1889 in Venlo had gesticht. De andere drie: Boudewijnse in Middelburg, De Khotinsky in Rotterdam, en Roothaan & Alewijnse in Nijmegen, bezweken al spoedig onder dezelfde moeilijkheden die ook Gerard Philips zou ondervinden — en overwinnen.

Bij de Brush Electrical Company had Gerard enige kennis omtrent de fabricage van gloeilampen opgedaan, en hij wist dat het in de eerste plaats aankwam op de gelijkmatigheid van de uit cellulose vervaardigde kooldraad. Het eerste werk dat hij ter realisering van zijn gedachte ondernam (nog vóór beëindiging van zijn werk voor de A.E.G.), lag dan ook op scheikundig gebied. Hij richtte in een washok in de tuin van het ouderlijk huis te Zaltbommel een „laboratorium" in (*fig. 4*), en pas toen hij meende erin geslaagd te zijn een kooldraad van goede kwaliteit te maken, zocht hij door advertenties in de „E.T.Z." en de „Electrician" een bedrijfsleider. Dit blijkt uit verschillende van zijn brieven aan sollicitanten die zich aanmeldden, en tevens zien wij uit die brieven dat hij een fabriek met een uiteindelijke produktie van 1000 lampen per dag op het oog had. Na vergeefse onderhande-

Fig. 4. Gerard Philips bij het experimenteren in zijn „laboratorium" te Zaltbommel in 1890.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Brief II (kopieboek blz. 149/150).

Hotel Mille Colonnes, Amsterdam. . . *) November 1890

C. J. Robertson Esq.,
Middelburg.

Sir,

I duly received your favour of the 6th inst. I still fail to see any decrepancy between my advertisement and conversation, in fact, I am inclined to think, that, if any, the want of agreement is on your side.

It is perfectly true that our plans are not yet settled but we thought that your knowledge of Dutch lamp making works and prices would assist us herein, and that at the same time, we would be able to enter into an agreement with you. We turned to you because you have a knowledge of the country and the language, and for no other reason, for, as I frankly told you, Mr. Boudewijnse's lamps hardly enjoy as good a reputation overhere as those of several other Dutch and German makes.

We have received quite a large number of applications where amongst from gentlemen who are very well qualified.

It is our intention to start a factory of 1000 lamps daily output, but we would at first make only 500 lamps a day, making the building and engine large enough for 1000 lamps. For a factory of this size we can supply the required capital ourselves, and we estimate this, when the output of 1000 lamps daily has been reached, at F. 75.000.— viz.:

total cost of building and plant F. 37.000.—
total working capital F. 38.000.—.

An increase of the working capital, above this cipher, would not . . . . *)

As advertised, we want to contract with an electrician (or as I would now put it, after our recent conversation, an electrical engineer), able to plan and fit up the factory and to manage the works. We are prepared to pay him, in addition to a fixed salary, a certain part of the net profits, but we are quite willing to consider any other basis of agreement.

I am, however, aware that it offers important advantages to start at once on a large scale, say with a daily output of 2500 lamps. Since we have very good connections, it is quite possible that we may be able to form a syndicate for this purpose. In such case it would be advisible to allot the expert a certain number of shares in the Company to . . . . *) for his goodwill and his patents or what is equivalent to this. This, however, must be done by special separate contract since the Dutch laws don't allow such seemingly gratuitous allotments to be incorporated with the articles of association.

But in order to be able to form a defined opinion of the relative advantages of the manufacture of lamps on different scales, it would interest us to have your calculation of the rentability of the lamp making business for an output of:

1) 1000 lamps daily (at first only 500 daily but building and engine large enough for 1000),
2) 2500 lamps daily.

We assume that lamps of all current C.P. (up to 100 C.P.) and E.M.F. have to be made, and we premise certain unit prices of materials, coals and labour. In the first case I would leave out any remuneration of the partners, accept any salary to be claimed by you in accordance with . . . *) proposals. In the second case a remuneration of the management in accordance to your own views or proposals should be drawn into account.

If we start a lamp factory of 500-1000 lamps daily on our own account, we will probably chose Breda, where we can buy a plot of land for F. 1000.—. The wages there are about as in Middelburg.

I shall be pleased to know your terms and I hope there is no objection on your part to supply an estimate on the lines above mentioned. In such case I could hardly ask you to do so at your earliest convenience.

Yours truly,

G. L. F. Philips

*) Niet leesbaar.

Brief III (kopieboek blz. 154).

Hotel Mille Colonnes, Amsterdam. 14.11.1890

M. E. Bailey Esq.,
London, E.C.

Dear Sir,

I duly received your application of Oct. 20, in answer to my advertisement in the Electrician of October 17, address 943 Electrician's Office.

You will understand that I have received a large number of applications both from England and the Continent, and I am now in correspondence with several lampmaking electrical engineers on this matter.

I intend to start an incand. lampfactory in Holland, with a daily output of 1000 lamps, starting however with less, but working up to this number.

I am able to produce extremely homogeneous and equal cellulose filaments on a business scale, and I am not so much in want of special details of manufacture, patented or not, of which, of course, any man, engaged in lampmaking, has quite a number to himself; what we want is a man quite competent to carry out and work a modern lamp factory on thorough business principles, in other words to make first-class lamps on a sound business scale in as cheap and efficient a way as possible.

In your letter you state that you were able to make lamps for four pence three farthings each. How do you understand this price? Are you prepared to say — and eventually to guarantee — that this is the nett price inclusive of (London) labour, salaries, rent, amortisation, etc.? Today, of course, allowance has been made for the higher prices of platinum. You will excuse my feeding some doubt, and more so since you work (?) with platinum and mercury glass airpumps, two things, which in the States they are trying to do away with.

I shall however be glad to receive some information on these points and to know whereon your data are based. And also what the cost of establishment of a factory for 1000 lamps daily would be on your plans. I shall also be glad to know your terms for an engagement.

I can give you many references with regard to myself.

I shall have to run over to London before long and would seize the opportunity to call upon you, if you are able to give me reliable data and facts concerning your ways of lampmaking.

I hope to receive your reply and proposals at an early date.

Yours truly,

G. L. F. Philips

lingen met een Engelse gegadigde, die o.a. een deelgenootschap in de op te richten firma eiste (*brief II*, van ca. 9 nov. 1890), en een andere Engelsman (*brief III*, van 14 nov. 1890), kwam het tot nadere afspraken met de „fabricagechef" of baas van een gloeilampenfabriekje in Brussel, dat zich niet had kunnen handhaven. In een brief van 30 dec. 1890 nodigde Gerard deze baas, E. Woschke, naar Zaltbommel uit voor een bespreking (*brief IV*). Het was kennelijk zijn bedoeling — evenals bij de vorige contacten — zijn eigen ideeën over de fabricage te toetsen aan de ervaringen van mensen uit de praktijk. Ook blijkt uit de zojuist genoemde brief dat de heer J. J. Reese in Amsterdam, een kennis van Gerard die als deelgenoot zou optreden, zich teruggetrokken had, maar dat Gerard nu op financiële steun van zijn vader kon rekenen.

De bespreking in Zaltbommel, die reeds kort

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Brief IV (kopieboek blz. 163).

Hotel Mille Colonnes, Amsterdam. 30.12.90

Herrn E. Woschke,
Brüssel.

Ich erhielt Ihr Wertes vom 10. cr., es war mir aber nicht möglich Ihnen eher Bestimmtes mitzuteilen. Ich bin augenblicklich sehr tätig verschiedene Details der Lampenfabrikage zu bearbeiten. Erstens mache ich jetzt einen schönen, reinen chemischen Draht. Weiter gibt es in der . . . . *) Fabrikage mehrere Details die mir gar nicht gefallen. Die Verbindung der Kohlen und Platindrähte will ich, wie die meisten Fabrikanten, auf elektrischem Wege darstellen; man muss dann viel schneller auspumpen. Die Seelschen Pumpen arbeiten abnormal lange; ich hatte kürzlich Gelegenheit, die Pumpen in der Fabrik von Roothaan und Alewijnse zu sehen und zu skizzieren. Diese arbeiten kürzer als eine halbe Stunde . . . *) in Venlo braucht man nur eine halbe Stunde zum leerpumpen. Das macht, dass man bedeutend weniger Maschinenkraft braucht als in der Seelschen Fabrik. Ich habe betreffs dieses Teiles genaue Angaben für die Nijmegener und Venloer Fabriken. Weiter will ich Akkumulatoren verwenden, u.s.f.

Ich werde das Unternehmen nicht mit Herrn Reese ausführen, sondern mit Unterstützung meines Vaters. Selbstverständlich in ganz anderer Weise wie die Seelleute, möglichst ökonomisch, ohne jeden Unsinn, mit möglichst geringem Verlust im Anfange.

Nun wäre es mir angenehm mit Ihnen eine entscheidende Unterredung zu haben, und zwar in Gegenwart meines Vaters. Sie können sich darauf verlassen, mit anständigen Leuten zu tun zu haben. Meinem Vater wäre es angenehm wenn Sie nach seinem Wohnort, Zaltbommel, kämen. Jeder Tag konveniert uns, wir bezahlen selbstverständlich Ihre Spesen.

Wenn Sie morgens 6.27 aus Brüssel Nord fahren, so sind Sie, via Antwerpen, um 8.27 in Roosendaal, Holländische Douane. Dort wechseln Sie und fahren 8.50 nach Herzogenbusch, Ankunft 10.02. Hier warten Sie bis 10.33 und fahren nach Zaltbommel oder Bommel, Ankunft 10.51 morgens. Also nur 4½ St. Am Bahnhof finden Sie einen Omnibus.

Ich hoffe also bald zu hören, welchen Tag Sie kommen können. Abends können Sie noch 6.37 zurück und sind dann um 11.14 in Brüssel.

Hochachtend,

G. L. F. Philips

*) Niet leesbaar.

daarna plaatsvond, leidde tot overeenstemming. Met ingang van 1 jan. 1891 werd Woschke geëngageerd voor *f* 120 per maand. Zolang er nog geen beslissing gevallen was over de plaats van vestiging resp. over het aankopen van een terrein of — nog liever, om geen tijd met bouwen te verliezen — van een bestaand gebouw, bleef Woschke in Brussel en trok daar een soort wachtgeld.

Wat de plaats van vestiging betreft, had Gerard o.a. aan Breda gedacht (zie brief II), waar hij een stuk grond voor *f* 1000 kon kopen en waar de lonen blijkbaar niet te hoog waren. Maar in februari 1891 was zijn oog al gevallen op de leegstaande bukskinfabriek van Schroeder & Weijers in Eindhoven (*fig.* 5), die voorzien was van stoomketel en stoommachine van 40 pk. Op 28 febr. 1891 schreef hij hierover aan Woschke (*brief V*), en op 16 mei 1891 kocht hij de fabriek voor *f* 12150.

Brief V (kopieboek blz. 168/169).

Hotel Mille Colonnes, Amsterdam. 28.2.1891

Herrn E. Woschke,
Brüssel.

Ich erhielt Ihre w. Schreiben vom 10. und 26. cr. und danke Ihnen für die verschiedenen Auskünfte. Ich habe Sie augenblicklich immer noch nicht nötig. Ich bin noch gar nicht so weit fortgeschritten wie Sie meinen, und Sie werden bei der Einrichtung der Fabrik bestimmt mitarbeiten, ich kann Ihre Dienste dabei zu gut verwenden. Durch allerlei Umstände wurde die Sache verschoben und ich bin augenblicklich noch immer in Unterhandlung betreffs Ankauf eines bestehenden Fabriklokals. Ich kann eine schöne, erst wenige Jahre alte Fabrik, ein Stock, viereckiges Gebäude, mit Dampfmaschine und Kessel kaufen; das Gebäude ist aber ganz von Stein und Eisen, und nun fürchte ich, dass das Eisen die Instrumente beeinflussen wird; gern vernehme ich Ihre Meinung desbetreffend. Das Gebäude misst 18 × 20 M. Ich gehe heut nach Zalt Bommel und werde von dorthin schreiben.

Ich bedauere dass ich Sie nicht, wie ich bestimmt glaubte, schon fragen konnte nach Holland zu kommen; die Lage dort ist gewiss nicht angenehm, doch ich könnte Sie doch nicht nach Holland kommen lassen vor ich an einem bestimmten Ort ein ordentliches Gebäude gemietet oder gekauft habe. Das wird mir nun wohl in Kürze möglich sein; ich hoffe im Laufe nächster Woche soweit zu sein, dass ich Sie fragen kann einmal hierher zu kommen um Ihre Meinung bezügl. des Gebäudes zu sagen. Ausser dem oben besprochenen bin ich noch in einer anderen Stadt betreffs zwei anderer Gebäuden in Unterhandlung, möchte aber gern die Dampfkraft sofort mit mieten oder kaufen.

Ich habe bezüglich der Venloschen Fabrik noch manches erfahren. Ein Mann pumpt dort 500 à 600 Lampen täglich leer, d.h. er hantiert die Hähne, denn von Heben von Gewichten ist nicht die Rede. Er empfängt 9 . . . . *) pro 100 Lampen. Ich werde versuchen diese Pumpen kennen zu lernen, denn dass das ein grosser Unterschied ist mit Seel, werden Sie einsehen. Der genannte Mann hat einen Tisch von 36 Lampen unter sich; 3 kleine oder 2 grosse Lampen auf jeder Pumpe. Es sind Sprengelsche Pumpen. Die Venloschen Lampen sind gut bekannt, werden hier sehr viel verwendet; die Fabrik ist im vorigen Sommer verdoppelt; ich kenne die Lampen wohl, sie haben Spiral Kohlen wie folgt:

Das macht, dass man den Draht nicht so scharf sieht, das Licht erscheint mehr gedrängt, mehr wie eine Gasflamme. Ich kann den Mann haben, der diese Kohlen herstellte, zu 12 Gulden pro Woche, er ist gelernter Zimmermann und ein kluger Mensch.

Sie haben noch wohl von jenem unverkohlten Draht aus Venlo. Ich möchte gern ein kleines Stück erhalten zum Vergleich mit meinem Draht. In Venlo lässt man die Kohlen die ganze Nacht über weiss glühend . . . . *). Man verwendet Hochofencokes.

Wie gesagt, hoffe ich, dass ich Sie in der nächsten Woche bei der Entscheidung betreffs des Fabrik-Lokals nöthig haben werde. Sehr bald darauf können Sie dann hierher übersiedeln, augenblicklich ist aber, wie Sie wohl begreifen werden, solches noch nicht tunlich.

Hochachtungsvoll,

G. L. F. Philips

P.S.
In Venlo hat man im Anfang zwei deutsche Glasbläser gehabt, jetzt aber nicht mehr. Alles wird heut von den Mädels gemacht. Das macht einen grossen Unterschied. Wir müssen das auch später versuchen, um ordentlich konkurrenzfähig zu sein. Die Venlosche Fabrik ist ein gesundes Geschäft, ganz anders wie Seel. Sie machen gute Geschäfte und wir müssen versuchen jene Herren nachzufolgen.

*) Niet leesbaar.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Uit de laatstgenoemde brief blijkt hoe intensief Gerard zich intussen had beziggehouden met de oplossing der technische problemen, die hij als wezenlijk beschouwde voor het slagen van zijn onderneming. Behalve het vervaardigen van een homogene kooldraad, was het vooral het luchtledigpompen der lampen en het werk van het glasblazen, dat Gerards aandacht had. De gloeilampenfabricage was in die tijd een bij uitstek loonintensief bedrijf. Om die reden was het essentieel de per lamp gebruikte tijd te verkorten en het werk te vereenvoudigen, zodat het zoveel mogelijk door meisjes als goedkope werkkrachten kon worden gedaan.

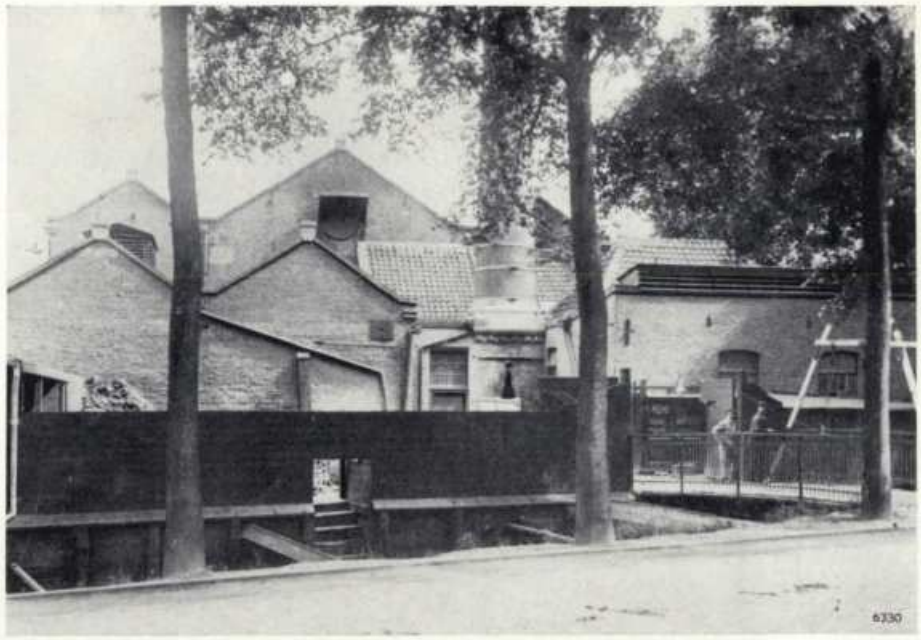


Fig. 5. De fabriek van Philips & Co. in 1891.

Op de groepsfoto van het gehele personeel, die in het eerste jaar vervaardigd werd, zie *fig. 6*, ziet men dat Gerard het laatstgenoemde beginsel al dadelijk in praktijk bracht.

Start van de Vennootschap Philips & Co.

Op 15 mei 1891 werd te Eindhoven de Vennootschap Philips & Co. opgericht (*fig. 7*), met G. L. F. Philips als werkend vennoot en zijn vader, B. F. D. Philips, als stille vennoot. Het door deze gefourneerde kapitaal bedroeg *f* 75 000. Eindelijk kon Woschke naar Eindhoven verhuizen en Gerard begon met grote spoed de stoommachine-installatie op te knappen, die ruim een jaar buiten gebruik was geweest, en verder de nodige bestellingen te doen, in de eerste plaats voor de elektrische installatie.

Hij vroeg offertes o.a. van de vertegenwoordiging van de A.E.G., de firma Mijnssen & Co. te Amsterdam. Op 22 mei kwam de offerte binnen, op 23 mei ging zijn bestelling voor drie dynamomachines (een grote en twee kleinere) de deur uit; zie *brief VI*. Hij vroeg verzending binnen 14 dagen. Bij de firma Hartmann & Braun te Frankfurt a.M. bestelde hij op 25 mei een hele reeks meetinstrumenten, o.a. een aperiodieke precisievoltmeter, vier gewone voltmeters, een draagbare monteursvoltmeter met twee schalen, een ampèremeter met groot meetgebied (200 A) en vier met klein meetgebied (5 A),

Fig. 6. Groepsfoto van het gehele personeel van Philips & Co. in 1891. Woschke — die reeds eind 1892 weer werd ontslagen — is de man met de pet.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

een „Wasservoltameter", een torsiegalvanometer voor directe aflezing, een meetbrug. Gerard geeft hierbij een referentie, stelt geregelde bestellingen in 't vooruitzicht, maar verlangt verzending van de instrumenten binnen drie weken. Alles wijst op de voortvarendheid waarmee Gerard zijn fabriek wilde inrichten. Toen bleek dat de A.E.G. voor de kleinere dynamo's een langere levertijd nodig had, annu-

BEKENDMAKING

Burgemeester en Wethouders van Eindhoven brengen ter kennis van het publiek, dat de B. F. D. Philips te Zaltbommel en G. L. F. Philips te Eindhoven, firma Philips & Co., aan hen vergunning is verzocht tot het mogen oprichten van Stoomfabriek van gloeilampen en andere elektrotechnische artikelen, op het aan hen toebehorend perceel, gelegen alhier aan de Vrijs raat, wijk No 112, kadastraal bekend sectie D, No 1[illegible] dat het daartoe strekkend verzoek met de bijbedoeld in art 5 der wet van den 2 Juni (*Staatsblad* No. 95) ter Secretarie der gemeente visie is gelegd.

Belanghebbenden worden opmerkzaam gemaakt dat op den 2 Juli e. k. des namiddags 5 ure, ten gemeentehuize alhier, gelegenheid gegeven om ten overstaan van het gemeentebestuur of een of meer zijner leden bezwaren tegen het oprichten van gemelde stoomfabriek in te brengen, dat zoowel de verzoeker, als zij die bezwaren inbrengen in de gelegenheid worden gesteld de bezwaren mondeling of schriftelijk toe te lichten en dat zij gedurende drie dagen vóór gemeld tijdstip op de Secretarie der gemeente van de zake ingekomen schrifturen kennis kunnen nemen.

Eindhoven, den 18 Juni 1891.

Burgemeester en Wethouders voornoemd,
A. F. VAN MOORSEL, Lz.
De Secretaris,
J. BOCKMA.

Bekendmaking.

DE BURGEMEESTER der gemeente Eindhoven

6365

Fig. 7. Bekendmaking, gedateerd 18 juni 1891 en gepubliceerd in de Peel- en Kempenbode, van de aanvrage der firma Philips & Co. om vergunning tot het oprichten van een Stoomfabriek van gloeilampen en andere elektrotechnische artikelen.

leerde Gerard dat gedeelte van zijn bestelling en wendde zich tot andere leveranciers, die, zoals hij schreef, „meer werk maakten van de kleinere machines".

In de tegenwoordige tijd zou een beginnende onderneming ook een auto aanschaffen. Auto's bestonden er toen nog niet, maar Gerard bestelde toch een nieuwerwets vervoermiddel — een velocipède. De levering door de Utrechtse importeur, tot wie Gerard zich moest wenden, viel niet mee, en we zien uit een brief aan deze importeur, hoe boos Gerard zich over slordigheid en onbetrouwbaarheid kon maken (*brief VII*).

Brief VI (kopieboek blz. 170).

Philips & Co. 23.5.1891

Den Heeren Mijnssen & Co.,
Amsterdam.

Mijne Heeren,

Wij zijn in 't bezit van Uwen geëerden van 22 dezer en verzoeken U, de onder volgende dynamomachines aan ons te leveren, echter onder voorwaarde dat wij binnen 8 dagen in 't bezit zijn van de voor het maken en bepalen van fundatie en transmissie noodige schetsen en afmetingen, en verder, dat de hierbij bestelde dynamomachines binnen 14 dagen naar ons op weg gebracht worden.

Wij bestellen:

1 G 200, shunt, voor 150 Volts en 170 Ampères, compleet met regulateur.
1 NG 25, compound, voor 300 Volts en 10 Ampères, compleet met regulateur.
1 S 15, van 200 Volts en 7 Ampères, compleet, doch zonder regulateur.

Alles onder de in Uw schrijven gestelde betalingsvoorwaarden.

Het aantal toeren der bestelde machines mag niet meer bedragen dan de in de prijscourant opgegeven cijfers; wij verzoeken U daaromtrent, gelijktijdig met bovenbedoelde schetsen, juiste opgaven te verstrekken.

De compoundeering der machine moet zeer goed zijn, zoo goed als men van een 1A compounddynamo verlangen kan.

Wij vertrouwen, dat U deze bestelling tot onze volle satisfactie zult uitvoeren.

Hoogachtend,
Uw dw. drn.
Philips & Co.

Brief VII (kopieboek blz. 208).

13.7.1891

Den Heer Deumer Cramer,
Utrecht.

Mijnheer,

Ik heb Uwe velocipede terug ontvangen, doch zonder schel. Met de ondergane reparatie kan ik echter nog geen genoegen nemen en zend ik U derhalve de machine nogmaals terug. Ik kan er geen genoegen mede nemen een machine te aanvaarden, die op een der hoofddeelen een slechte plaats heeft. Ik betaal mijn goede geld en wil daarvoor ook een goede machine hebben, zonder het minste gebrek. Mij dunkt, dit is niet meer dan rechtmatig. Over het geheel kan ik niet zeggen, dat Uw machine zich houdt zooals het behoort bij een eerste klasse machine. Ik ken er hier verscheidene, die na langdurig gebruik nog niets geleden hebben, en Uw machine vertoont na een korte beproeving reeds gebreken. De zadelstang heeft neiging om krom te gaan staan en trekt het verbindingsstuk der stangen achterover, zoodat de framestangen, die onder het zadel loopen van boven naar achteren over buigen; naar het mij voorkomt, is dit het gevolg van te zwakke (of verkeerde) constructie. Boven aan de vork van het voorwiel kan men nu reeds een naad zien, waar de lak . . . *) klaarblijkelijk tengevolge van werking in die deelen.

Ik verzoek U dus mij ten spoedigste een goede degelijke machine te leveren, zonder een enkel gebrek, daar ik mij anders te anderer plaatse van een machine zal moeten voorzien. Men heeft mij reeds van verschillende zijden gevraagd of ik de machine kan recommandeeren, enz., doch wat moet ik onder deze omstandigheden hierop antwoorden?

Met achting,
Uw dw. dr.
G. L. F. Philips

*) Niet leesbaar.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Brief VIII (kopieboek blz. 248).

30.7.1891

Herrn W. Müller,
Brüssel, N.

Wir erhielten Ihr w. Schreiben vom 27. cr. Wir sind bereit Ihnen für das Anfertigen der neuen Pumpen Frs. 45.— pro Woche Gehalt zu geben. Übrigens seien Sie versichert, mit anständigen Leuten zu thun zu haben. Wenn wir, wie wir, nach dem was Herr Woschke sagt erwarten, mit Ihnen zufrieden sind, so wird Ihre Stelle hier gewiss eine sehr dauerhafte sein, und Ihr Gehalt Ihren Leistungen völlig entsprechend. Sie sind hier der Erste, und das hat gewiss seine Vortheile! Wir lieben es in Holland nicht immer Personal zu wechseln; wenn man gute Leute hat, so behält man sie. Feste Arrangements schliesst man hier schon deshalb nicht, weil das weiter zusammen Arbeiten doch für beide Teile recht unangenehm ist, wenn man einander nicht gefällt. Wir glauben aber, nach dem was Herr Woschke sagt, nicht dass das bei uns der Fall sein wird.

Wir sehen also Ihrer w. Überkunft entgegen.

Mit Achtung,

Philips & Co.

Brief IX (kopieboek blz. 356).

29. October 1891

Herrn H. Jahrke,
Frauenwald.

Wir brauchen augenblicklich für das Herstellen und Reparieren unserer Quecksilberpumpen einen tüchtigen und ruhigen Glasbläser. Das Gehalt würden wir bestimmen auf 20.— Gulden pro Woche fest, und würden seine Reiseauslagen vergüten. Sofortiges Eintreten ist also bestimmt nothwendig. Vielleicht können Sie uns daran helfen, und würden Sie uns damit sehr verpflichten. Selbstredend muss der Mensch nüchtern und anständig sein. Wenn er gut ist so wird seine Stelle bei uns gewiss eine sehr dauerhafte sein.

Ihnen im Voraus für einige Antwort dankend, zeichnen,

Hochachtungsvoll!

Philips & Co.

Brief X (kopieboek blz. 315).

1. October 1891

Herrn Albert Voss,
Ellrich a/Harz.

Wir brauchen für das Eingipsen unserer Glühlampen einen speciellen Gips, der sehr hart werden muss, dennoch nicht zu viel Zeit zum richtigen Erhärten braucht. Auch soll der Gips nicht viel treiben.

Weiter werden wir bald einen neuen Fussboden für unsere Quecksilberpumpen nöthig haben, und werden wir uns vielleicht entschliessen, hierzu eine Probe mit Ihrem Estrichgips zu machen.

Wir möchten Sie deshalb bitten uns, für beide Zwecke, Auskunft, Preise und Muster zugehen zu lassen.

Wie lange können wir den Glühlampengips aufbewahren? Wir bitten Sie um nur äusserste Preise.

Hochachtend,

Philips & Co.

Referenz Banquier J. H. Stein, Köln.

Na de materialen voor de elektrische installatie kwamen de pompen om de lampen luchtledig te maken aan de beurt. Wat op dit gebied te koop was, was meer bestemd voor natuurkundige proeven op kleine schaal, maar niet geschikt voor het gelijktijdig en snel pompen van grote aantallen lampen. Gerard trachtte dus iemand met ervaring op dit gebied te engageren, en hij schreef op 30 juli 1891 aan een zekere W. Müller in Brussel, die hem door Woschke hiervoor aanbevolen was (*brief VIII*). Uit de brief krijgt men de indruk dat Müller veel gelegen was aan een vaste betrekking, maar Gerard vindt wederkerige voldoening belangrijker dan contractuele binding. Blijkbaar terecht, want drie maanden later, 29 okt. 1891, is Gerard met de grootst mogelijke spoed weer op zoek naar een man voor hetzelfde doel, die hij nu via een relatie in Duitsland tracht te vinden (*brief IX*). In de desbetreffende brief legt Gerard opvallend veel nadruk op de eis dat de man „ruhig" en „nüchtern" (hier vermoedelijk bedoeld als: matig in het alcoholgebruik) moet zijn — wij kunnen er slechts naar gissen, of daar misschien de reden voor de voorafgaande teleurstelling te zoeken was. Kennelijk was dit een knelpunt in Gerards werk, zoals ook blijkt uit de brieven die Gerard op 16 en 21 nov. aan twee gegadigden voor deze positie schreef. Met één dezer gegadigden treedt hij op 29 febr. 1892 opnieuw in briefwisseling, omdat de positie — inmiddels door een ander bezet — alweer vakant geworden is!

Fig. 8 geeft een indruk hoe een pompstel voor de fabricage van kooldraadlampen er in die tijd moet hebben uitgezien.

De lampvoeten voor de gloeilampen — oorspronkelijk van gips gegoten in zinken vormen, waarin tevoren de koperen schroefdraadkorf en het voetcontact waren geplaatst — behoefde Gerard niet zelf te maken. De gloeilampenfabriek van Boudewijnse in Middelburg, die als zodanig een mislukking was geworden, had zich daarna toegelegd op het fabriceren alleen van lampvoeten, waarbij als verbetering was ingevoerd dat de schroefdraadkorf en het voetcontact met elkaar verbonden waren door „Vitrite", een isolerende glasmassa. Gerard vroeg op 1 okt. 1890 offerte aan „The Vitrite Works" — blijkbaar met goed resultaat, want ook thans nog worden de lampvoeten voor vrijwel alle Philips gloeilampen in de fabriek te Middelburg vervaardigd.

Voor het bevestigen van de vitritelampvoeten aan de ballon van de gloeilamp bleef gips nodig, en Gerard informeerde bij leveranciers naar speciale gipssoorten: het gips moest zeer hard worden, maar mocht niet teveel uitzetten (Duits: „treiben"),

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

omdat anders de hals van de ballon beschadigd zou kunnen worden (*brief X*).

Een bestelling van 3 okt. 1891 bij een drukker in Krefeld op ca. 150 000 gegomde en geperforeerde etiketjes van 15 mm bij 10 mm, die op de gloeilampen geplakt moesten worden, berustte op een schatting van de lampsoorten en de spanningen waarnaar vraag kon ontstaan. De bestelling omvatte:

17 500 stuks voor lampen van 8 kaars,
32 000 „ „ „ „ 10 kaars,
70 000 „ „ „ „ 16 kaars,
17 500 „ „ „ „ 32 kaars,
17 500 „ „ „ „ 50 kaars,

die als volgt over de verschillende spanningen waren verdeeld:

22 500 stuks voor 100 V,
22 500 „ „ 105 V,
19 500 „ „ 110 V,
9000 „ „ elk der spanningen 65 - 98 - 102 - 108 - 112 - 115 - 120 - 125 V,
4500 „ „ elk der spanningen 50 - 60 - 70 - 75 V.

Het inrichten van de fabriek, het vervaardigen van de pompen en van diverse vrij primitieve hulpmiddelen voor de fabricage heeft bijna een jaar geduurd. Een specificatie van 5 febr. 1892 voor de brandverzekering verschaft een duidelijk beeld van de inventaris; zie *brief XI* uit het kopieboek. De gebouwen werden geschat op een waarde van *f* 16 000 zonder fundering en „stoomschoorsteen", die vielen blijkbaar buiten de verzekering), de inventaris op ca. *f* 25 000.

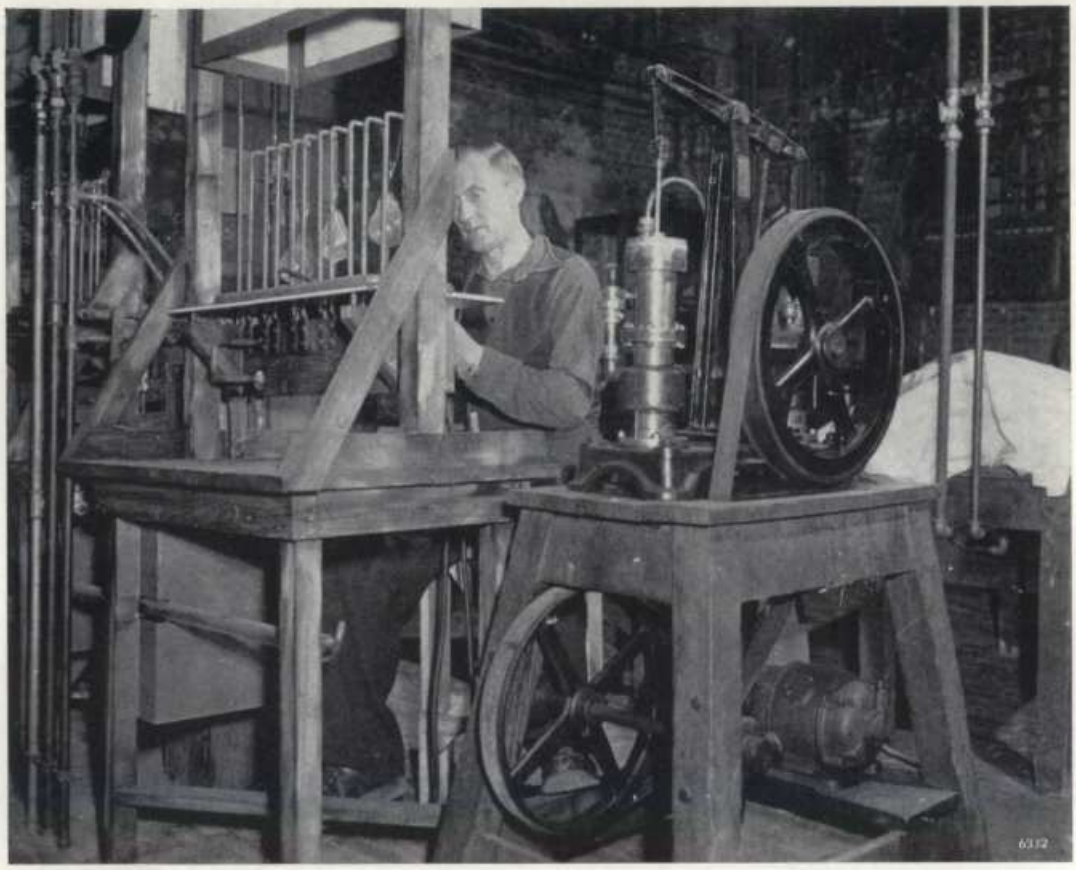


Fig. 8. Reconstructie van een pompstel voor kooldraadlampen, zoals het in de begintijd van de fabriek door Gerard Philips gebruikt moet zijn. Deze reconstructie werd gemaakt in 1951, naar aanleiding van het zestigjarig jubileum van de firma, en het stel is toen enige weken in werking geweest.

De eerste jaren van de fabricage

De eerste zending gloeilampen (100 stuks) werd in mei 1892 afgeleverd. Merkwaardig is het feit dat deze lampen gingen naar de stearinekaarsenfabriek in Gouda, een concurrent op het gebied van de verlichting, die ook nu, na alle verbeteringen van de gloeilampen, nog geenszins het veld heeft moeten ruimen. Het grote brandgevaar in die fabriek is de aanleiding geweest dat men daar zo vroeg van de gasverlichting met open gasvlammen is overgegaan naar de veilige verlichting met gloeilampen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Brief XI (kopieboek blz. 401).

5 Februari 1892

Specificatie voor de Assurantie der Gloeilampenfabriek van de Heeren Philips & Co., te Eindhoven.

Fabriek, kantoor en nevengebouwen met uitzondering van fundeeringen en stoomschoorsteen	F.	16.000,00
Ketel, stoommachine en stoomleidingen .	„	6.000,00
Machinerieën als: 3 Dynamo's met Regulateur, 1 Blaasbalk, 1 machinaal ijzeren draaibank met toebehooren, 1 automatische luchtpomp, 1 vacuümketel	„	4.000,00
Werktuigkundige instrumenten, toestellen, glasblazers- smids- en verdere gereedschappen, werktafels, glasblazerstafels, betimmeringen, kasten en fabrieksmeubelen . . .	„	10.000,00
Kantoormeublement waaronder: Een Chadwood brandkast en kantoorbehoeften . . .	„	600,00
Goederen waaronder: Platina, Kwikzilver, Glaswerk, koperen hulzen, chemicaliën benoodigd voor gloeilampenfabricatie . . .	„	5.000,00
	F.	41.600,00

Verdere afnemers waren in die tijd hoofdzakelijk de stoomvaartmaatschappijen, schouwburgen, café-restaurants en hotels, en de winkels van luxeartikelen.

De afzet in 1892 werd niet groter dan 11 000 lampen. Dit was veel te weinig. De plannen voor de fabriek waren erop gebaseerd dat men bij een jaarproduktie van 150 000 lampen (500 stuks per dag) juist de kosten kon dekken, en dat men op 1000 lampen per dag moest komen om met winst te werken.

De Nederlandse markt was te klein, op de internationale markt was de concurrentie groot (de A.E.G. produceerde omstreeks 1891 reeds meer dan 3000 gloeilampen per dag, de Edison General Electric Company ca. 8000 lampen per dag) en de prijzen hadden een dalende tendentie. Aan de invoering van de elektrische gloeilamp voor de verlichting in woonhuizen — de gehoopte grondslag voor een massafabricage — scheen de pas afgesneden te worden door de spectaculaire ontwikkeling van het gaslicht. Auer von Welsbach had in 1885 zijn octrooi op de gloeikous gekregen, en met de verdere ontwikkeling hiervan was de lichtsterkte van de gasbrander gestegen van 16 kaars tot 70 of 80 kaars, het „lichtrendement" toegenomen van 0,09 tot 0,65 kaars-uren per liter gas. Overal waar een gasnet reeds bestond, ging het aantal gasaansluitingen in het begin van de jaren '90 met sprongen omhoog, en het roodachtig-gele licht van de kooldraadlamp sloeg nu een pover figuur naast het schitterend witte, iets groenige gaslicht.

Daarbij kwamen de moeilijkheden die Gerard bij het op gang brengen van zijn fabriek ondervond. Hij moest behalve chef van de fabricage ook inkoper en verkoper zijn, en doordat hij enkele medewerkers moest ontslaan die niet opgewassen bleken te zijn tegen hun taak, moest hij zelf steeds meer uiteenlopende werkzaamheden op zich nemen. Tussen het werk van de ingenieur, zoals hij zich dat had voorgesteld, en het werk van de fabrikant bestond wel een groot verschil. Zijn kennis der elektrotechniek kon hij slechts sporadisch toepassen. De zuiverheid der grondstoffen en het goed functioneren der kwikdruppel-vacuümpompen (pompen van Sprengel) bereidden hem de meeste zorgen. Als allround technicus, die Gerard was, wist hij zich wel door de vele moeilijkheden heen te slaan en voortdurend verbeteringen aan te brengen bij de fabricage: de gebruikelijke chloorzinkcellulose als uitgangsstof voor de kooldraad verving hij nader-

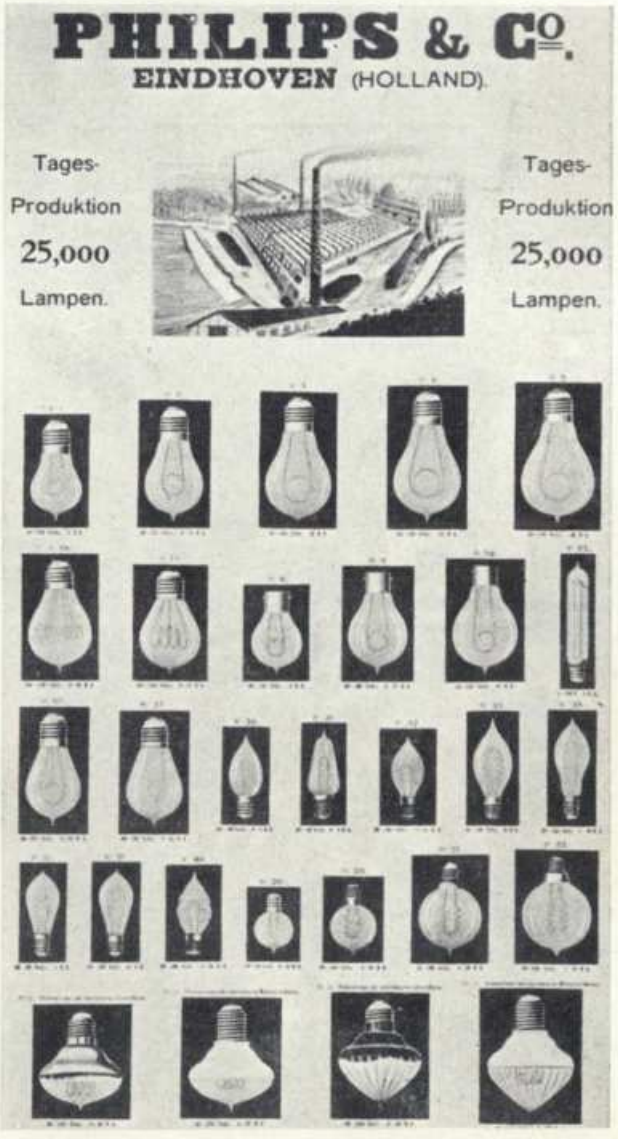


Fig. 9. Reclameplaat van Philips & Co. omstreeks 1903.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Fig. 10. Een moderne gloeilampenfabriek: hal met een reeks evenwijdig opgestelde „volggroepen" in de in 1961 geopende gloeilampenfabriek van Philips te Weert. Elke volggroep beslaat de gehele breedte van de hal en vormt een zelfstandige fabricage-eenheid. Aan de volggroep, die door 3 of 4 personen wordt bediend, worden wolfraamspiralen, steundraden, ballons, lampvoeten enz. toegevoerd; ze levert een continue stroom van gerede gloeilampen af (meer dan 2000 stuks per uur), die hier ook reeds aan de nodige keuring zijn onderworpen. De stroom gloeilampen van elke volggroep gaat op een transportband door de vloer naar de onder deze hal opgestelde verpakkingsmachines.

hand door het beter te beheersen ijsazijncollodium, en de kwikdruppelpomp door de sneller en betrouwbaarder werkende mechanische olie-vacuümpomp. Maar aan zulke technische problemen had Gerard zijn handen vol, en er werd te weinig aandacht besteed aan de verkoop. Deze bleef de eerste jaren onvoldoende.

Zo kwam het, dat in 1894 vader en zoon het moeilijke besluit namen de fabriek te verkopen en de zaak te liquideren. Wederom had een plan waarvoor Gerard zich met zijn hele persoonlijkheid had ingezet, niet het verwachte resultaat gehad. Zou hij op de leeftijd van 36 jaar opnieuw met iets anders moeten beginnen? Wat was er gekomen van de zelfstandigheid, die hij gezocht had?

Eigenlijk was het maar een bijkomstigheid, die op dit kritieke ogenblik een wending ten goede bracht. Iemand die de fabriek wilde kopen, probeerde van de matige gevraagde prijs van *f* 25 000 nog *f* 1000 af te dingen. Dit prikkelde Gerards vader dermate dat hij de onderhandelingen afbrak en besloot nog eens een poging te wagen met de gloeilampenfabriek. Zijn vertrouwen in de technische capaciteiten van zijn zoon was ongeschokt, maar hij zag duidelijk waar de schoen wrong: Gerard moest geheel ontlast worden van de commerciële werkzaamheden. Toen het moeilijk bleek hiervoor iemand te vinden, kwam bij vader Philips de gedachte op, zijn jongste zoon, Anton Frederik, hiervoor te interesseren.

Begin 1895 deed deze 21-jarige, die tot nu toe in Londen op een bankierskantoor had gewerkt, zijn intrede in het kleine bedrijf van zijn zoveel oudere broer. Spoedig wist hij de verkoop, vooral door reizen naar het buitenland — o.a. Rusland, waar nog weinig gasnetten aangelegd waren — zo te stimuleren dat in 1895 geen verlies meer werd geleden [5]).

Er volgt dan een aantal jaren waarin de produktie met grote sprongen omhoog ging:

1895:	100 000	lampen
1896:	280 000	,,
1897:	630 000	,,
1898:	1 200 000	,,
1900:	2 700 000	,,
1902:	3 600 000	,,

[5]) Het is misschien interessant te vermelden dat de door Edison in 1881 opgerichte eerste gloeilampenfabriek met een geregelde fabricage — aanvankelijke produktie 1000 lampen per dag — eveneens gedurende de eerste drie jaren met verlies heeft gewerkt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Hoe vaste voet de firma Philips & Co. in 1902 reeds verkregen had, zelfs in Duitsland met zijn eigen grote gloeilampenfabrieken, wordt geïllustreerd door het feit dat in dat jaar de Gewerbeausstellung te Düsseldorf geheel met Philipslampen werd verlicht.

Reeds vóór de invoering van de metaaldraadlampen (wolfraamlamp in 1906) moest de fabriek aanzienlijk worden uitgebreid, ontwikkelde men een aantal speciale soorten lampen en groeide de dagproduktie tot 25 000 en meer stuks (*fig. 9*). Het fabricageprocédé werd onderwijl in toenemende mate gerationaliseerd en gemechaniseerd. Van het ogenblik af dat Anton Philips de commerciële taak op zich genomen had, kon Gerard Philips zijn technische gaven als fabrikant en constructeur — hij was immers van opleiding werktuigkundig ingenieur! — geheel ontplooien, en de mechanisatie had zijn volle aandacht. Toen Gerard in 1922 de leiding van de fabriek overdroeg aan zijn naaste medewerkers, was de fabricage zover gemechaniseerd dat per man-uur de produktie het 50-voudige bedroeg van de produktie in 1892.

Deze en de verdere ontwikkeling tot heden te schetsen, valt buiten het kader van dit artikel. Ze moge slechts worden aangeduid door een illustratie van het voorlopige eindpunt (*fig. 10*): een gloeilampenfabriek zoals die thans in werking is en waarin per fabricage-eenheid produkties van meer dan 2000 stuks per uur worden bereikt.

Onze laatste figuur (*fig. 11*) wijst nog eens naar het begin: het is een reliëf dat de stichter Gerard Philips toont en dat is ingemetseld aan de voet van de schoorsteen van het — nog bestaande — fabriekje van 1891.

Fig. 11. Gedenkplaat, aangebracht aan het fabriekje van 1891.

Verdere literatuur:

De Bougie Jablochkoff, Electrische Verlichting (onder pseudoniem „Electron"), uitg. Van Es, Amsterdam 1878.
Dit boekje bejubelt de te Parijs gegeven demonstraties van „eene nieuwgeboren verlichting, die zoo even hare kindschheid is ingetreden", en het illustreert treffend de grote actualiteit die het vraagstuk van de „verdeling van het elektrische licht" toen bezat.

Electric Illumination, onder redactie van J. Dredge, 1882 (deel I) en 1885 (deel II).
In hoofdzaak een compilatie uit „Engineering", met uittreksels van in Amerika en Engeland verleende octrooien.

A. von Urbanitzky, Electricity in the service of man (bewerkt naar het Duits door R. Wormell), Woodall, Londen 1886.
Idem, Die elektrische Beleuchtung und ihre Anwendung in der Praxis, 2e ed., Hartleben, Wenen 1890.

G. S. Ram, The incandescent lamp and its manufacture, The Electrician Publ. Comp., Londen 1893.
De auteur deelt zijn langjarige ervaringen in het maken van lampen mee, en presenteert deze „with as little mathematical embellishment as, under the circumstances, is possible".

H. Weber, Die elektrischen Kohlenglühfadenlampen, ihre Herstellung und Prüfung, Jänecke, Hannover 1908.
Dit boek bevat o.a. een nuttig historisch overzicht. Interessant is verder een hoofdstuk over het repareren van gloeilampen, d.w.z. het verwijderen van de kortsneerslag of het vervangen van een doorgebrande gloeidraad; de auteur keert zich tegen dit gebruik en stelt: „Der Konsument wird dann, wenn die Lampe einigermassen das Versprochene hält, sehr gern nach Defektwerden der Lampe sich für einen angemessenen Preis eine neue kaufen und ganz verzichten auf billigere reparierte Lampen".

A chronological history of electrical development, Nat. Electr. Manuf. Assoc., New York 1946.

F. A. Lewis, The incandescent light; a review of its invention and application, The Thomas Alva Edison Foundation, West Orange (N.J.) 1949.

G. F. Westcott, Mechanical and electrical engineering (Classified lists of historical events, The Science Museum), H.M. Stat. Off., Londen 1955.

P. J. Bouman, Anton Philips, de mens, de ondernemer, Meulenhoff, Amsterdam 1956.

Samenvatting. Het begintijdperk van de elektrotechniek wordt in dit artikel heel summier geschetst, en er wordt een beeld ontworpen van de situatie op verlichtingsgebied die in Europa en speciaal in Nederland bestond toen Gerard Philips te Eindhoven met de fabricage van gloeilampen begon. Een belangrijke bron van historische gegevens omtrent de oprichting van de fabriek is gevonden in een boek met kopieën van brieven, door Gerard Philips in het tijdvak van april 1889 tot april 1892 aan vele verschillende personen geschreven. Elf van deze brieven, die typische bijzonderheden bevatten, worden hier in extenso gepubliceerd.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

GLOEILAMPEN MET JODIUMHOUDEND VULGAS

I. PRINCIPE

door J. W. van TIJEN *).

621.326.79

Korte tijd geleden is een nieuw type gloeilamp geïntroduceerd met zeer aantrekkelijke eigenschappen. Deze eigenschappen dankt de lamp aan het feit dat zich in de ballon een kleine hoeveelheid jodium bevindt. Men noemt deze lamp meestal kortweg „jodiumlamp".

Men kan de waarde van deze vinding het beste duidelijk maken tegen de achtergrond van de historische ontwikkeling van de gloeilamp, met speciale aandacht voor de hierbij gerealiseerde rendementsverbetering. In een gloeilamp wordt elektrische energie omgezet in licht door een gloeidraad met behulp van elektrische stroom te verhitten. Hoe hoger de temperatuur van de gloeidraad, des te groter het rendement van de omzetting (het lichtrendement), maar des te groter helaas ook de verdampingssnelheid van het draadmateriaal. Alleen indien men de verdampingssnelheid weet te verminderen, kan men de temperatuur verhogen zonder tevens de levensduur van de gloeidraad te verkorten.

De verbetering van het lichtrendement van de gloeilamp, die gedurende de acht decennia van zijn bestaan is bereikt, kan men derhalve karakteriseren als het resultaat van een strijd tegen de verdamping van het draadmateriaal. In deze strijd is de jodiumvulling het nieuwste wapen.

Korte historie van de gloeilamp [1])

De gloeilamp die Edison in 1879 vervaardigde, bestond uit een kooldraad die gemonteerd was in een geëvacueerde glazen ballon. Het lichtrendement van dit lamptype (ca. 50 W) was ca. 3 lumen per watt [2]).

De ontwikkeling die hierna heeft plaatsgevonden, stond aanvankelijk in het teken van het zoeken naar draadmaterialen met een geringere verdampingssnelheid dan koolstof. Via het keramische gloeilichaam van Nernst en de metalen osmium en tantaal kwam men in 1910 tot de getrokken wolfraamdraad (Coolidge). Met deze draad, eveneens gemonteerd in een luchtledige ballon, bereikte men een lichtrendement van ca. 9 lm/W bij een vermogen van 40 W. Deze verbetering met een factor 3 ten opzichte van de kooldraadlamp werd in hoofdzaak verkregen doordat de gloeidraadtemperatuur kon worden opgevoerd van ca. 2100 °K naar 2400 °K. (Een andere oorzaak van de verbetering is het feit dat de spectrale energieverdeling van het door wolfraam geëmitteerde licht gunstiger is dan die van koolstof bij dezelfde temperatuur: bij wolfraam vormt de zichtbare straling een groter percentage van het in totaal door straling gedissipeerde vermogen.)

Men is er sindsdien niet in geslaagd een nog beter materiaal te vinden dan wolfraam. Bij de verdere ontwikkeling is men daarom steeds uitgegaan van wolfraam, waarbij ernaar gestreefd is de verdampingssnelheid van de gloeidraad zoveel mogelijk te verkleinen. Langmuir bracht deze ontwikkeling een belangrijke stap vooruit door de ballon te vullen met inerte gassen, zoals argon en stikstof (1913). Dank zij deze kunstgreep wordt een zeker percentage van de verdampte wolfraamatomen, door botsing tegen de gasdeeltjes, naar de draad teruggekaatst. Men kan nu de temperatuur van de draad opvoeren tot ca. 2800 °K, onder behoud van dezelfde levensduur. De gasvulling brengt echter ook een nadeel mee: er gaat energie verloren door warmteafgifte aan het gas. Deze zg. „gasverliezen" heeft Langmuir weten te verminderen door de draad te spiraliseren. Hij bereikte aldus met een gasvulling van ca. één atmosfeer een rendement van 11 lm/W bij een 60-W-lamp. In de jaren '30 is dit rendement nog tot 12 lm/W verhoogd kunnen worden door de gloeidraad dubbel te spiraliseren, waardoor de gasverliezen nog kleiner werden.

Een verdere verbetering van het rendement bleek mogelijk door in plaats van het gebruikelijke argon een edelgas met een groter molecuulgewicht te nemen, zoals krypton of xenon. Ten gevolge van dit grotere molecuulgewicht wordt de wolfraamverdamping beter tegengegaan, terwijl tevens de warmteafgifte aan het gas geringer wordt. De grote zeldzaamheid, en dus ook hoge prijs, van krypton en xenon maakt dat men deze gassen slechts toepast

*) Hoofdindustriegroep Licht, Eindhoven.

[1]) De historie van de gloeilamp vindt men uitvoerig beschreven in A. A. Bright Jr., The electric-lamp industry, MacMillan, New York 1949. Zie ook het artikel van N. A. Halbertsma in dit nummer (blz. 202), en voorts W. Geiss, Philips techn. T. **1**, 97, 1936 en **6**, 338, 1941.

[2]) Het theoretische maximum voor wit licht (spectrum van constante energie) is ca. 220 lm/W.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

in speciale lampen, waar dit economisch verantwoord is.

Lange tijd leek het of de rendementsontwikkeling van de gloeilamp hiermede tot stilstand was gekomen, totdat in 1959 de reeds genoemde jodiumvulling gerealiseerd werd. Het bleek nl. mogelijk dat deel van het verdampte wolfraam dat niet door het vulgas naar de spiraal wordt teruggekaatst, en dat op de ballonwand neerslaat, door middel van een chemisch proces (met jodium) naar de spiraal terug te voeren.

In het volgende zal getracht worden van de chemische en fysische verschijnselen die zich in een jodiumlamp voordoen, een beeld te geven.

De regeneratieve cyclus met jodium

Het grondidee van de jodiumlamp is een zg. regeneratieve cyclus: het wolfraam op de ballonwand wordt omgezet in een bij de wandtemperatuur vluchtige verbinding, die daarna op, of in de buurt van, de spiraal weer ontleedt. Men slaat dan twee vliegen in één klap:

a) de ballonwand blijft vrij van zwarting;
b) de wolfraamspiraal ondergaat geen gewichtsverlies.

Verschillende verbindingen van wolfraam komen voor een dergelijke cyclus in aanmerking. De halogeniden en de carbonylverbinding, $W(CO)_6$, bezitten de geschikte vluchtigheid. Wat de overige vereiste eigenschappen betreft, komen de halogeniden meer in aanmerking dan de carbonylverbinding, daar bij deze laatste de ontledingstemperatuur vrij laag ligt. Ook bestaat bij gebruik van deze verbinding gevaar voor vorming van wolfraamcarbide, waardoor er brosse plekken in de spiraal kunnen ontstaan.

Het basisidee van een regeneratieve cyclus met halogenen is vrij oud. Zo publiceerde Hamburger, op grond van proeven in ons Natuurkundig Laboratorium, reeds in 1916 [3]) gegevens over een onvolmaakte cyclus, die met behulp van chloor tot stand werd gebracht. Eerst in 1959 echter slaagden Zubler en Mosby in het General Electric laboratorium te Cleveland erin technisch bruikbare lampen volgens dit principe te maken, en wel met een regeneratieve jodiumcyclus [4]). De moeilijkheid die o.m. overwonnen moest worden, was het maken van ballons die bestand zijn tegen hogere temperaturen dan die bij normale gloeilampen optreden (zie ook blz. 220).

[3]) L. Hamburger, Chem. Weekbl. **13**, 535, 1916.
[4]) E. G. Zubler en F. A. Mosby, Illum. Engng. **54**, 734, 1959.

We zullen nu de verschillende wolfraam-halogeenverbindingen aan een nadere beschouwing onderwerpen. Hun vorming en ontleding voltrekt zich volgens een evenwichtsreactie van het volgende type:

$$WX_n \rightleftarrows W + nX,$$

waarin X een halogeenatoom en n een klein geheel getal voorstelt. De ligging van het evenwicht hangt sterk af van de temperatuur, zoals we aan de hand van de grafiek in *fig. 1* zullen laten zien. De ligging van het evenwicht wordt bepaald door de vergelijking

$$\frac{P_W\,(P_X)^n}{P_{WX_n}} = K,$$

waarin P_W, P_X en P_{WX_n} de partiële drukken van de in evenwicht zijnde componenten voorstellen en K de zg. evenwichtsconstante is. In fig. 1 is de logaritme van de berekende evenwichtsconstante K uitgezet als functie van de temperatuur. Bij waarden $K \ll 1$ is de partiële druk der atomen W en X veel kleiner dan die van de moleculen WX_n, bij waarden $K \gg 1$ is het omgekeerd. Ongeveer bij die temperatuur waar de K-lijn de waarde 1 (of $\log K = 0$) passeert, slaat het evenwicht door van de ene naar de andere kant.

Fig. 1 laat zien dat bij de hoge temperatuur waarop de wolfraamspiralen gloeien (ca. 3000 °K) de meeste wolfraamhalogeniden vrijwel volledig gedissocieerd zullen zijn. Een uitzondering vormt wellicht het fluoride, dat bij de genoemde temperatuur slechts voor een deel gedissocieerd zal zijn. De tem-

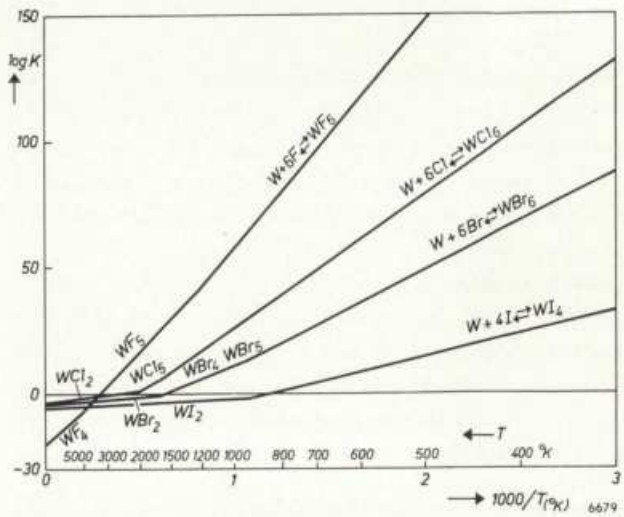


Fig. 1. De langs thermodynamische weg berekende evenwichtsconstante K van de vormingsreacties van alle wolfraamhalogeniden als functie van de temperatuur T. Deze grafiek laat zien dat bij de gebruikelijke ballonwandtemperaturen (200-600 °C) het evenwicht aan de zijde van de verbinding ligt en bij de gebruikelijke spiraaltemperaturen (3000 °K) aan de zijde van de samenstellende elementen, juist zoals men dat voor een regeneratieve wolfraamcyclus wenst.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

peratuur waarbij het evenwicht naar de andere kant schuift, ligt bij het chloride bij ca. 2000 °K, bij het bromide bij ca. 1500 °K en bij het jodide bij ca. 1000 °K.

Uit bovenstaande gegevens kunnen we concluderen:

1) dat bij de gebruikelijke spiraaltemperaturen alle wolfraamhalogeniden in een mate gedissocieerd zijn als voor de bedoelde regeneratieve cyclus vereist is;
2) dat bij alle gebruikelijke ballonwandtemperaturen (200-600 °C) het evenwicht aan de kant van het wolfraamhalogenide ligt, hetgeen voor de regeneratieve cyclus eveneens noodzakelijk is.

We hebben uitsluitend de reactie met halogeen atomen beschouwd en niet die met moleculen. De reden hiervan is dat bij de hoge spiraaltemperatuur alle halogeenmoleculen volledig dissociëren in atomen. Deze atomen diffunderen weliswaar naar gebieden van lagere temperatuur, maar hier krijgen ze weinig gelegenheid tot associatie, gezien de geringe botsingskans bij de in de praktijk gekozen gasdrukken. Bovendien is de reactiviteit van de halogeenatomen vele malen groter dan die van de halogeenmoleculen. De vorming van wolfraamhalogeniden zal dan ook wel in hoofdzaak aan de reactie met de atomen te danken zijn.

Blijkens het bovenstaande zijn in principe alle wolfraamhalogeniden geschikt voor toepassing in gloeilampen. Toch is het geen toeval dat tot op heden de jodiumcyclus het meeste succes heeft gehad. Een van de voornaamste oorzaken is gelegen in het feit dat men bij een regeneratieve cyclus ernaar moet streven dat enerzijds het neergeslagen wolfraam op de relatief koude ballonwand wordt aangetast, doch dat anderzijds de relatief koude einden van de wolfraamspiraal intact blijven. Uit de grafiek blijkt dat bij gebruik van jodium de aantasting van de spiraaleinden het gemakkelijkst te vermijden is. In dat geval behoeft de temperatuur van de spiraaleinden niet hoger te zijn dan ca. 1500 °K om het aantastingsgevaar te doen verdwijnen. Het is in de praktijk niet moeilijk constructies te vinden waarbij aan deze eis wat betreft de temperatuur voldaan wordt.

Lijkt hiermede de weg open te staan voor het realiseren van lampen met een hoger rendement dan normaal, of eventueel een langere levensduur, bij nader inzien blijken nog andere voorwaarden te moeten worden vervuld.

Nadere beschouwing van de oorzaken van beperkte levensduur van normale en jodiumgloeilampen

Om de verschijnselen in een jodiumlamp goed te kunnen begrijpen, moeten we iets dieper ingaan op de wijze waarop de gloeidraad aan het einde van de levensduur van een gloeilamp bezwijkt. Beschouwen we eerst een vacuümlamp. Als de gloeidraad hiervan een volkomen constante diameter had en volkomen gelijkmatig verdampte, dan zou de steeds dunner wordende draad steeds minder stroom gaan geleiden en steeds kouder worden. Het resultaat zou zijn een oneindig lange levensduur van de gloeidraad en een gestaag afnemende lichtstroom. De in werkelijkheid optredende eindige levensduur wordt veroorzaakt door het feit dat in de draad dunne of zwakke plekken voorkomen of ontstaan, die met de volle stroom belast worden. Op deze plaatsen zal de wolfraamdraad zeer heet worden en ten slotte stuk gaan.

Het betreft hier een statistisch gebeuren, maar dat neemt niet weg dat er een vaste, geheel reproduceerbare relatie blijkt te bestaan tussen verdampingssnelheid en levensduur. Ter illustratie hiervan vermelden we in *tabel I* enkele gegevens [5]) die betrekking hebben op een niet-gespiraliseerde wolfraamdraad in vacuüm. Daarbij wordt tevens het lichtrendement vermeld.

Tabel I. De levensduur van een niet-gespiraliseerde wolfraamdraad in vacuüm.

Temperatuur °K	Lichtrendement lm/W	Verdampingssnelheid v g/cm² s	Levensduur H van draad van 0,01 mm diameter uur	$v \times H$
2000	2,93	$15{,}5 \times 10^{-15}$	$1{,}04 \times 10^{7}$	$16{,}1 \times 10^{-8}$
2200	5,71	$22{,}4 \times 10^{-13}$	$7{,}20 \times 10^{4}$	$16{,}1 \times 10^{-8}$
2400	9,77	$13{,}8 \times 10^{-11}$	$1{,}17 \times 10^{3}$	$16{,}1 \times 10^{-8}$
2600	14,8	$41{,}7 \times 10^{-10}$	$3{,}86 \times 10^{1}$	$16{,}1 \times 10^{-8}$
2800	20,9	$83{,}3 \times 10^{-9}$	1,9	$15{,}8 \times 10^{-8}$
3000	27,8	$10{,}5 \times 10^{-7}$	0,15	$15{,}7 \times 10^{-8}$

Naast de zeer snelle achteruitgang in levensduur bij toenemende temperatuur, valt het meeste op dat de levensduur vrijwel exact omgekeerd evenredig is met de verdampingssnelheid. Dit betekent dat de draad vrijwel steeds bezwijkt zodra een bepaald, constant percentage wolfraam is verdampt. Men noemt dit percentage het dodelijk gewichtsverlies. Dit dodelijk gewichtsverlies bedraagt voor vacuümlampen 10 tot 15% van het draadgewicht.

In een lamp met gasvulling is de situatie vrijwel hetzelfde. Het enige verschil is dat door het voortdurend verdampen en weer terugkaatsen van de wolfraamatomen, waardoor de draad onregelmatiger van aard wordt, het dodelijk gewichtsverlies een factor 2 à 3 kleiner is dan bij vacuümlampen. Dit op zichzelf voor de levensduur ongunstige effect wordt echter meer dan goedgemaakt door de verdampingsvertraging ten gevolge van de gasvulling,

[5]) C. Zwikker, Physica **5**, 252, 1925.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

die bij een druk van ca. 1 atm gemakkelijk een factor 50 kan bedragen.

Hoe is nu de situatie bij de jodiumlamp? Tijdens het branden van deze lamp vindt op normale wijze wolfraamverdamping plaats, waarbij een gedeelte van het verdampte wolfraam door de gasatomen naar de spiraal wordt teruggekaatst. Het ontsnappende deel bereikt de ballonwand, waar het reageert met jodiumdamp en waar het wordt omgezet in een vluchtig wolfraamjodide, dat in de buurt van de spiraal ten gevolge van de daar heersende hoge temperaturen dissocieert en dat aldus ter plaatse de wolfraamdampconcentratie verhoogt. Dit doet weer de afzetting van wolfraam op de spiraal toenemen, tot er evenveel wolfraam op de spiraal wordt afgezet als er wolfraam van de spiraal verdampt.

In het ideale geval van een gelijkmatige verdamping en afzetting van wolfraam zou dit betekenen een oneindig lange levensduur van de jodiumlamp met behoud van constante lichtstroom (anders dus dan bij de „ideale" vacuümlamp, waarbij de lichtstroom geleidelijk zou afnemen). Dit ideale geval komt niet voor; altijd zullen er temperatuurverschillen in de gloeiende spiraal optreden. We zullen zien welke consequenties dit heeft.

De wolfraamdamp rondom de spiraal zal ten gevolge van diffusie een homogene verdeling vertonen. De wolfraamdampconcentratie is als het ware „afgestemd" op de gemiddelde spiraaltemperatuur. Op de relatief hete plekken in het wolfraamoppervlak zal meer wolfraam verdampen dan er afgezet wordt; op de relatief koude plekken zal, omgekeerd, meer afgezet worden dan er verdampt.

Hoewel dus de spiraal, als geheel gezien, in een jodiumlamp geen gewichtsverlies ondergaat, kan wel degelijk wolfraam zich verplaatsen van relatief hete spiraaldelen naar relatief koude. Deze „migratie" van wolfraam langs de spiraal is in de praktijk goed waar te nemen. Door deze wolfraamverplaatsing zullen de relatief hete plekken steeds dunner en heter worden, totdat de draad ten slotte bezwijkt.

Wanneer we, naar analogie van het gedrag van normale gloeilampen, mogen rekenen met een min of meer constante dodelijke gewichtsverplaatsing, dan kunnen we aantonen dat voor de levensduur H van een jodiumlamp de volgende evenredigheid geldt [6]):

$$H \sim \frac{T_h^{-32}}{\Delta T}.$$

Hierin is ΔT het temperatuurverschil tussen relatief hete en koude spiraaldelen, en T_h de temperatuur van het heetste gedeelte.

Voor $\Delta T = 0$ zou de levensduur van de spiraal oneindig lang worden. Deze toestand kan, zoals gezegd, niet gerealiseerd worden, doordat in een wolfraamdraad altijd kleine onregelmatigheden voorkomen of ontstaan. Verder zal de levensduur bij een gegeven temperatuurverschil zeer sterk afnemen met toenemende T_h. Dit komt doordat het proces van wolfraammigratie bij hogere temperaturen zo veel sneller verloopt.

Indien echter bij de constructie en vulling van de jodiumlamp speciale voorzorgen worden genomen (zie de punten (5) en (6) in het volgende hoofdstuk), is deze wolfraammigratie vergeleken met de wolfraamverdamping in normale gloeilampen een langzaam proces. Bij de jodiumlamp kan dus inderdaad een langere levensduur en/of een hoger rendement verkregen worden dan bij de normale gloeilamp. Bij gelijke levensduur bereiken wij voor sommige typen lampen, met een vuldruk van ca. 1 atm, een rendementsverbetering van ongeveer 25 %. Bovendien heeft de jodiumlamp het voordeel van een constante lichtstroom tijdens de levensduur (er treedt immers geen zwarting van de wand op, en geen gewichtsverlies van de spiraal).

Enige technische details betreffende de jodiumlamp

Om een jodiumcyclus in een gloeilamp te kunnen onderhouden, moet de lamp aan bepaalde eisen voldoen, waardoor hij in constructie afwijkt van normale gloeilampen.

1) Ballonafmeting en ballontemperatuur.

Het is wenselijk de ballon van een normale gloeilamp niet te klein te maken, daar anders de optredende zwarting te veel licht zou absorberen en vooral ook daar anders de ballontemperatuur te hoog zou worden.

Bij de jodiumlamp is het anders gesteld; enerzijds treedt hierbij geen zwarting op, anderzijds moet de ballontemperatuur hoger liggen dan normaal. Bij te lage temperaturen zou de reactiesnelheid voor de vorming van het wolfraamjodide te gering worden en zou er ook condensatie van deze verbinding kunnen plaatsvinden. De afmetingen van de ballon worden veelal zo klein gekozen dat een ballontemperatuur van ongeveer 600 °C wordt verkregen. Dit betekent dat de ballon moet worden gemaakt van kwartsglas of van een andere glassoort met hoog verwekingspunt.

[6]) Deze formule, die we met behulp van de kinetische gastheorie hebben afgeleid, geldt voor het temperatuurgebied van ca. 2700-2900 °K. Buiten dit temperatuurgebied geldt de formule met een exponent van T_h die enigszins afwijkt van de hier gebruikte. De betrouwbaarheid van de formule is door talrijke experimenten bevestigd.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

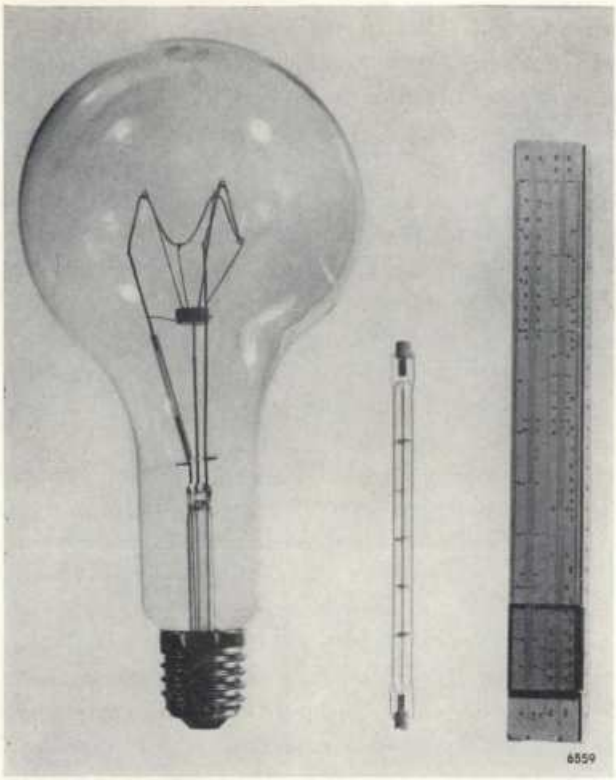


Fig. 2. Een jodiumlamp van 1000 W. Ter vergelijking links ervan een 1000-W-gloeilamp van normale constructie.

2) Lampvorm.

Jodiumlampen zijn in diverse vormen vervaardigd; voor jodiumlampen van groot vermogen (vanaf 500 W) is tot nu toe de meest gebruikte constructie een cilindrische ballon met in de as een rechte gloeispiraal (zie *fig. 2*). Zulk een lamp, waarbij de lengte groot is ten opzichte van de diameter, moet in horizontale stand branden, daar anders het jodium ten gevolge van thermodiffusie zich onder in de ballon verzamelt en de cyclus hierdoor niet meer onderhouden wordt.

3) Dosering van het jodium.

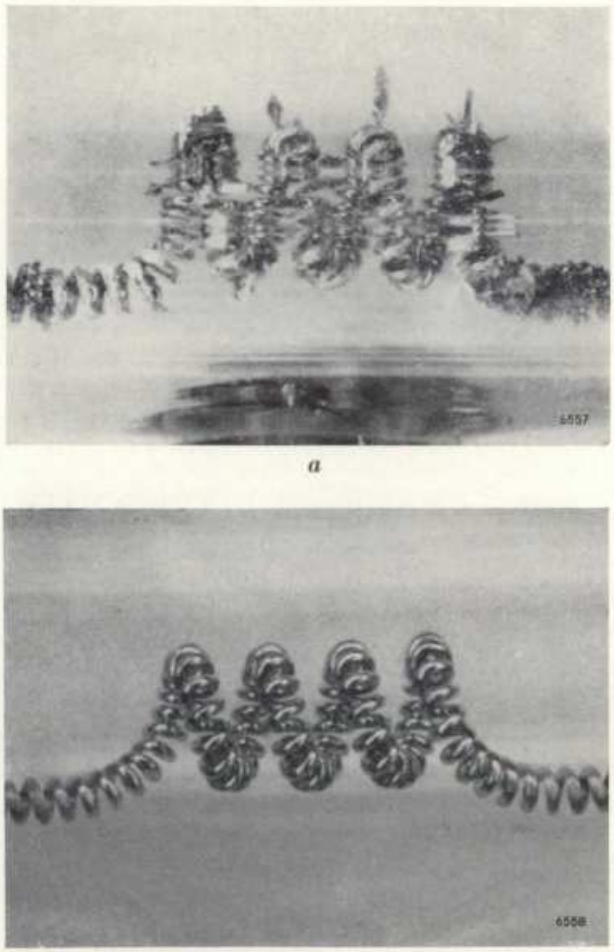
De lampen worden gevuld met een edelgas waaraan ca. $0{,}25 \times 10^{-6}$ gmol jodium per cm^3 ballonvolume wordt toegevoegd. Gebruikt men te veel jodium, dan verliest men licht, ten gevolge van absorptie door de jodiumdamp; gebruikt men te weinig, dan kan de jodiumcyclus niet snel genoeg verlopen.

4) Ophanging en ondersteuning van de spiraal.

De gebruikelijke materialen als nikkel, molybdeen, tantaal en ijzer zijn niet zonder meer voor ophanging en ondersteuning van de spiraal te gebruiken, daar ze met jodium reageren. Men moet daarom òfwel de metalen voorzien van een beschermend laagje, b.v. van glas, òfwel zijn toevlucht nemen tot edele metalen, zoals platina, of tot speciale legeringen. Ook kan men wolfraam gebruiken, maar dan moet de constructie der onderdelen zodanig zijn dat deze een voldoend hoge temperatuur verkrijgen (zie ook blz. 219).

5) Zuiverheid van de gasvulling.

Het is een bekend feit dat sporen waterdamp in een gloeilamp ten gevolge van een kringproces in snel tempo wolfraam van de spiraal naar de ballonwand transporteren. In een jodiumlamp wordt weliswaar het op de ballon neergeslagen wolfraam door de jodiumcyclus weer naar de spiraal teruggebracht, doch dit extratransport van wolfraam leidt tot een zeer onregelmatige afzetting op de spiraal (zie *fig. 3*), hetgeen een relatief korte levensduur ten gevolge heeft. Ook andere verontreinigingen kunnen een ongunstig effect op de levensduur hebben. Men moet bij de vervaardiging van jodiumlampen daarom maatregelen treffen om een grote zuiverheid van de gasvulling te waarborgen.



a

b

Fig. 3. *a*) Wolfraamspiraal van een jodiumlamp waarin spoortjes waterdamp aanwezig waren, *b*) hetzelfde voor een jodiumlamp geheel vrij van waterdamp; beide lampen hebben een zelfde aantal uren gebrand.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

6) Verkleining van temperatuurgradiënten langs de spiraal.

Aangezien het wolfraam de neiging heeft te migreren van relatief hete naar relatief koude spiraaldelen, dient men ernaar te streven optredende temperatuurgradiënten langs de spiraal te verkleinen. Zo dienen de onderdelen ter ophanging en ondersteuning van de spiraal zo licht mogelijk te worden uitgevoerd, opdat de warmteafgifte via deze onderdelen tot een minimum beperkt blijft.

Verdere rendementsverbetering door drukverhoging der vulgassen

Zoals boven vermeld, moeten jodiumlampen relatief klein zijn. Men zal zulke lampen zonder bezwaar kunnen vullen met gassen onder een druk van meer dan één atmosfeer. De kleine ballons zijn immers relatief sterk en kunnen een verhoogde druk goed weerstaan. Onder gunstige omstandigheden (zeer kleine lampjes) kunnen vuldrukken tot ca. 10 atm toegepast worden.

Het nut van een hogedrukvulling bij jodiumlampen is vooral groot doordat in de kleine lampen vrijwel geen convectiestromingen in de gasvulling voorkomen. In normale gloeilampen, waar dit wèl het geval is, is drukverhoging een tweesnijdend zwaard: enerzijds vertraagt men de verdamping van wolfraam, anderzijds vermeerdert men de warmteafgifte via het gas. Dit laatste is echter alleen aan convectie te wijten. Bij een „stilstaand" gas is de warmtegeleiding onafhankelijk van de druk. Dit betekent dat men bij kleine jodiumlampen alleen te maken heeft met de verdampingsvertraging. Volgens een door ons afgeleide formule, die ook experimenteel bevestigd is, is dan het lichtrendement evenredig met de vuldruk tot de macht 0,12. Met de bovengenoemde vuldrukverhoging tot ca. 10 atm, die onder gunstige omstandigheden kan worden toegepast, kunnen dan ook lichtrendementen worden verkregen die nog ongeveer 30% hoger liggen dan bij overeenkomstige jodiumlampen die met gas van 1 atm gevuld zijn [7]).

Samenvattend kan het volgende gezegd worden. De jodiumlamp onderscheidt zich gunstig van de gewone gloeilamp doordat er geen vermindering van lichtstroom tijdens de levensduur optreedt. Voorts zijn er bij enkele typen jodiumlampen, bij „normale" levensduren, rendementswinsten bereikt van ca. 25%. Dit geldt dan voor lampen met een gasvulling van 1 atm. Voor die lamptypen waarbij vulling onder zeer hoge druk technisch toelaatbaar is, kan nog een verbetering van ca. 30% worden gerealiseerd, zodat dan ten opzichte van normale gloeilampen het rendement met 60% gestegen is.

[7]) Ook de op blz. 220 genoemde rendementsverbetering van 25% bij een vuldruk van 1 atm is voor een deel, naar schatting ongeveer de helft, toe te schrijven aan de verhoging van de druk die tijdens het branden optreedt.

GLOEILAMPEN MET JODIUMHOUDEND VULGAS

II. TOEPASSINGSMOGELIJKHEDEN

door J. J. BALDER *).

621.326.79

De jodiumlamp wordt meestal uitgevoerd als een cilindrische ballon met een diameter van ca. 10 mm, in welke ballon langs de as een gespiraliseerde gloeidraad is aangebracht. We bespreken achtereenvolgens de toepassingsmogelijkheden van jodiumlampen met een vermogen groter dan 500 W, waarbij de lengte groot is ten opzichte van de diameter, en die van jodiumlampen met een kleiner vermogen en relatief kleine lengte [1]).

De eerste categorie lampen leent zich vooral voor gebruik in combinatie met cilindrische spiegels. De lichtbundel die uit zo'n combinatie van lamp en spiegel treedt, zal in het vlak loodrecht op de lengteas vrij gemakkelijk naar wens kunnen worden gevormd. De lichtverdeling in dit vlak heeft men nl. in de hand door de keuze van de vorm van de spiegeldoorsnede. Eventueel kan bovendien een meer of minder spreidende ruit aangebracht worden.

In vlakken door de as is de beheersing van het licht moeilijker. Zonder verdere ingreep waaiert in zulke axiale vlakken het licht uit over de volle 180°. Alleen met speciaal gevormde eindspiegels of andere, gecompliceerde middelen kan de bundelbreedte in zulke vlakken enigermate beperkt worden.

*) Hoofdindustriegroep Licht, Eindhoven.

[1]) Over toepassingsmogelijkheden van de jodiumlamp in het algemeen, zie ook C. J. Allen en R. L. Paugh, Illum. Engng. **54**, 741, 1959.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Fig. 1. Een 1000-W-jodiumlamp met armatuur, o.m. geschikt voor sportveldverlichting of voor verlichting met slaglicht.

De aangewezen toepassingen vindt men derhalve daar waar een bundel gewenst is die in één richting breed en loodrecht daarop smal is. Dergelijke bundels verlangt men b.v. voor slaglicht (floodlight), voor verlichting van sportvelden en andere vlakke terreinen, voor verlichting van reclameborden, e.d. Tevens kan men denken aan verlichting in fabriekshallen, kerken, winkelgalerijen, magazijnen, theaters, studio's, enz. Voor het goed functioneren van de bedoelde lampen is het nodig dat ze horizontaal branden (zie I). In vrijwel al deze gevallen is een dergelijke brandstand van de lamp niet in strijd met het gebruiksdoel.

De kleine dwarsafmetingen van de lamp maken het mogelijk om reeds met vrij kleine spiegels de gewenste lichtbundels met een goed optisch rendement te verkrijgen, mits de materialen en de constructie van de armaturen zodanig gekozen worden dat er geen te hoge temperaturen optreden. *Fig. 1* toont een armatuur voor een 1000-W-jodiumlamp, zoals men b.v. voor sportveldverlichting of voor verlichting met slaglicht kan gebruiken.

Voor de toepassingen van lampen van de tweede categorie, nl. die met kleinere vermogens (enkele tientallen tot enkele honderden watt), waarbij de gloeidraad een kort element is (enkele mm tot hoogstens enkele cm lang), behoeven we niet meer aan lange cilindrische spiegels te denken. Soms kunnen min of meer kuipvormige, al of niet gefacetteerde spiegels gebruikt worden, bij spiralen van enkele mm lengte zelfs rotatiesymmetrische spiegels van paraboolvormige of andere, eventueel samengestelde, doorsnede. Ook hier bestaat weer het voordeel van kleine spiegelafmetingen, mogelijk gemaakt door de kleinheid van de lichtbron.

Als voorbeeld van de toepassing van een jodiumlamp met klein vermogen nemen we het gebruik in autolantaarns.

Met een autokoplantaarn behoort men de weg op twee verschillende wijzen te kunnen verlichten: door middel van een hoofdbundel of, bij passeren van een tegenligger, door middel van een dimbundel. Het is gunstig deze laatste bundel asymmetrisch uit te voeren. Beide soorten verlichting moeten aan wettelijk vastgestelde eisen voldoen [2]). We bespreken nu één mogelijke uitvoeringsvorm — gekozen uit talloze mogelijkheden — van een autolantaarn die gemaakt is met behulp van jodiumlampen. Bij deze uitvoering worden er drie jodiumlampen gebruikt, ieder van 35 W; zie *fig. 2*.

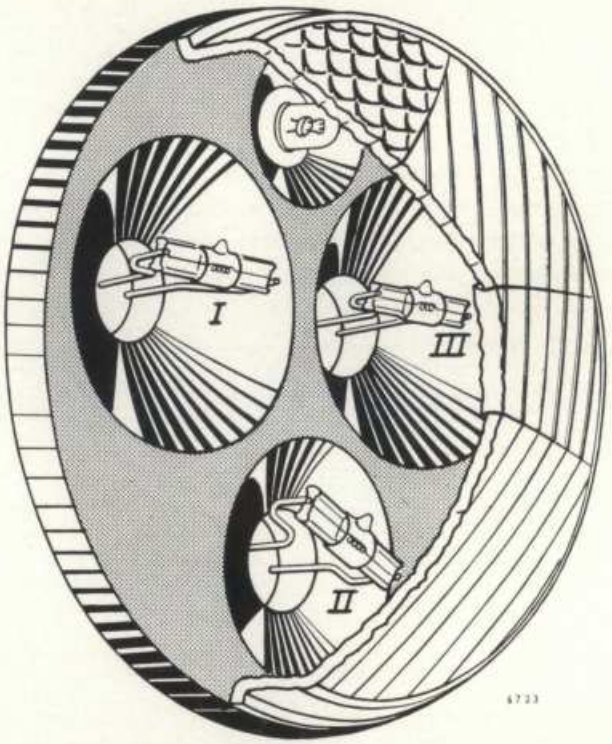


Fig. 2. Voorbeeld van een autolantaarn die met behulp van drie jodiumlampen *I*, *II*, *III*, ieder van 35 W, is samengesteld. De bijbehorende spiegels hebben de vorm van omwentelingsparaboloïden, met diameters van respectievelijk 75, 60 en 75 mm. In deze uitvoeringsvorm zijn de drie spiegels te zamen geconstrueerd binnen een ruimte die in diameter gelijk is aan die van een veel gebruikte autolantaarnsoort (170 mm). De afsluitruit bestaat uit segmenten van onderling verschillend spreidend vermogen. De hoofdbundel wordt verkregen door de lampen *I* en *II*, de dimbundel door de lampen *I* en *III*. De gewone gloeilamp, die in een vierde, kleine reflector boven in de lantaarn is aangebracht, heeft met het erbij behorende gedeelte van de afsluitruit de functie van het gebruikelijke, veelal afzonderlijk geplaatste stadslicht.

[2]) Zie b.v. de inleiding van het artikel van W. Bähler in dit nummer (blz. 255), en J. B. de Boer en D. Vermeulen, Philips techn. T. **12**, 309-322, 1950.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

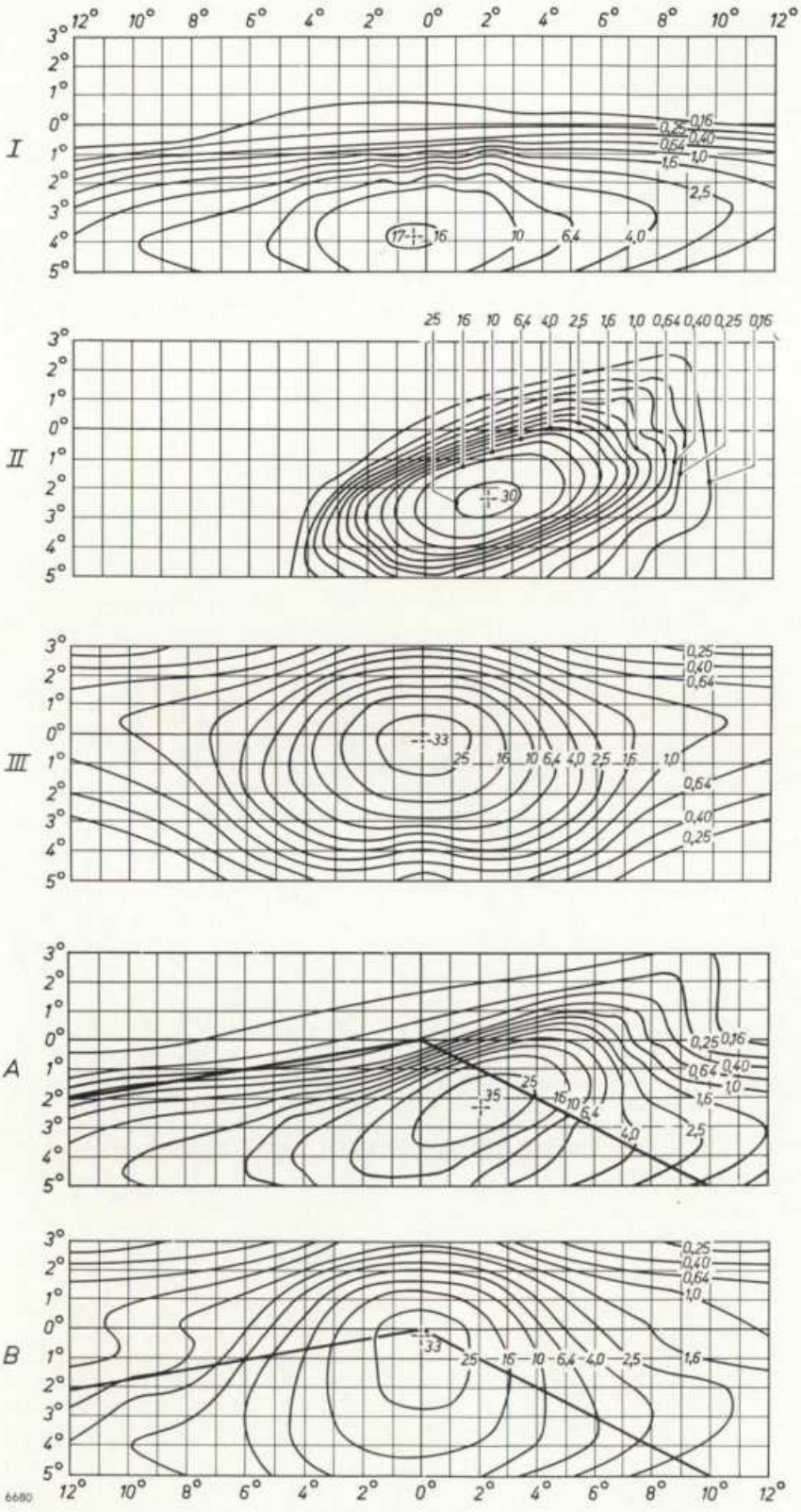


Fig. 3. Isocandeladiagrammen van de autolantaarn uit fig. 2, gemeten op 25 m afstand. De getallen bij de isocandelalijnen geven de lichtsterkte in kilocandela. De diagrammen *I*, *II* en *III* gelden resp. voor de jodiumlampen *I*, *II* en *III*. Diagram *A* geeft de som van de bundels uit de diagrammen *I* en *II*: een asymmetrische Europese autodimbundel. In dit diagram zijn getekend de linker- en rechterrand van een weg van 6 m breed, zoals die gezien worden uit een autolantaarn die zich op 0,75 m hoogte op het midden van de rechterweghelft bevindt [2]). Diagram *B* geeft de som van de bundels uit de diagrammen *I* en *III*: een autohoofdbundel. Ook hier zijn de wegranden aangegeven als in diagram *A*.

De drie jodiumlampen zijn te zamen aangebracht binnen een ruimte met de afmetingen van een normale autolantaarn van 170 mm diameter. De gemeenschappelijke afsluitruit bestaat uit vier segmenten, die een onderling verschillende lichtspreiding teweegbrengen. De eerste lamp (*I*) is geplaatst in een rotatiesymmetrische spiegel van paraboolvormige doorsnede met een diameter van 75 mm. Het licht dat hierdoor gereflecteerd wordt, passeert een sterk spreidend segment van de afsluitruit. Op deze wijze wordt een brede bundel verkregen, als in diagram *I* van *fig. 3* is weergegeven. De tweede jodiumlamp (*II*) levert een geconcentreerde lichtbundel, zoals die weergegeven is in diagram *II* van fig. 3, en wel met behulp van een eveneens paraboolvormige spiegel van slechts 60 mm diameter, en een zwak spreidend segment van de ruit. De derde jodiumlamp (*III*) is wederom aangebracht in een spiegel van 75 mm diameter. In dit geval is een matige spreiding door de afsluitruit toegepast. De hierdoor verkregen lichtverdeling vindt men in diagram *III* weergegeven.

Combineert men de deelbundels *I* en *II*, dan verkrijgt men een goede asymmetrische dimbundel (zie diagram *A*), terwijl de combinatie van *I* en *III* een goede hoofdbundel geeft (zie diagram *B*). Bij het omschakelen van dim- naar hoofdbundel en omgekeerd blijft in een dergelijk systeem dus altijd de deelbundel *I* branden, hetgeen een zekere continuïteit in de wegverlichting waarborgt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

We zijn bij dit voorbeeld niet ingegaan op details als de plaatsing van de spiraal, de afscherming naar richtingen waar verblindingsgevaar voor tegenliggers zou ontstaan, e.d. Men heeft hierbij de keus uit vele uitvoeringsmogelijkheden. *Fig. 4* toont b.v. een lamp bestemd voor een axiale plaatsing van de spiraal in de reflector. Ook zijn nog allerlei andere keuzen dan de hier besprokene mogelijk van lampvermogens, spiegelafmetingen, spiegelconfiguratie en -combinatie en daarmee van opbouw, karakter en intensiteiten der bundels. Alle aldus met behulp van jodiumlampen gemaakte autolantaarns zijn ten opzichte van gewone autolantaarns in het voordeel òf door een hoger optisch rendement bij dezelfde lantaarnafmetingen, òf door kleinere lantaarnafmetingen bij een zelfde optisch rendement, èn door het betere lichtrendement van de jodiumlamp zelf.

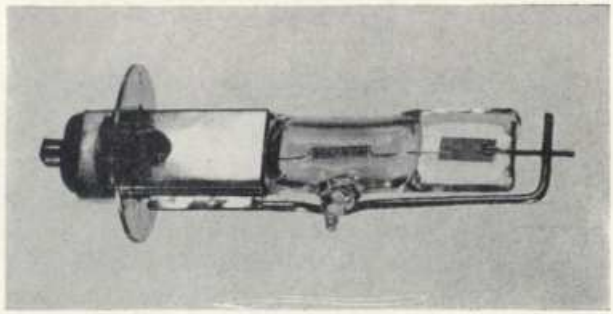


Fig. 4. Voorbeeld van een uitvoeringsvorm van een jodiumlamp (14 V, 70 W), bedoeld voor axiale plaatsing van de spiraal in de reflector. Zie ter vergelijking de lantaarn uit fig. 2, waarin de spiralen loodrecht op de reflector-as geplaatst zijn.

Samenvatting van I en II. In I wordt de geschiedenis van de gloeilamp geschetst als de geschiedenis van een strijd tegen de verdamping van de gloeispiraal, met als doel, een hoger lichtrendement en/of langere levensduur van de lamp te verkrijgen. Een nieuw wapen in deze strijd is de zg. regeneratieve cyclus met behulp van jodium, dat in geringe hoeveelheid aan het vulgas van de lamp wordt toegevoegd. Hierbij wordt het verdampte wolfraam dat op de ballonwand neerslaat, omgezet in een vluchtig jodide, welke verbinding in de buurt van de spiraal, ten gevolge van de daar heersende hoge temperaturen, weer ontleedt. Op deze wijze kan al het verdampte wolfraam naar de spiraal worden teruggevoerd. De voorwaarden voor het goed functioneren van een dergelijke cyclus, die in principe ook met andere halogenen mogelijk is, worden toegelicht, en het wordt duidelijk gemaakt waarom met jodium de beste resultaten worden verkregen. Jodiumlampen zijn relatief klein, ze hebben een hogere ballonwandtemperatuur dan normaal (ca. 600 °C) en ze zijn daarom gemaakt van kwartsglas of van een andere glassoort met hoog verwekingspunt. Jodiumlampen van groot vermogen (500 W en meer), die meestal als lange cilinders worden uitgevoerd, moeten in horizontale stand branden. Bij vulling met edelgas onder hoge druk in plaats van de bij normale lampen gebruikelijke druk van een atmosfeer, wordt de rendementswinst nog groter, daar men in de kleine ballon geen gasconvectie heeft en de warmteverliezen van het gas derhalve vrijwel niet met de druk toenemen. Zo kan in gunstige gevallen een rendementsverbetering van 60% ten opzichte van de normale gloeilamp worden gerealiseerd.

In II worden enige toepassingsmogelijkheden van de jodiumlamp besproken. In het bijzonder wordt aandacht gegeven aan de toepassing ervan in autolantaarns, waarbij een uitvoeringsvoorbeeld wordt beschreven. Hierbij zijn drie 35-W-jodiumlampen, ieder in een eigen kleine reflector, in één lantaarn aangebracht.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

NIEUWE MOGELIJKHEDEN IN NATRIUMLAMPEN

door M. H. A. van de WEIJER *).

621.327.532

De recente ontwikkeling van de natriumlamp

De ontwikkeling die de natriumlamp de laatste jaren heeft doorgemaakt, heeft geleid tot een aanzienlijke verbetering van het lichtrendement en tot een veel constantere lichtstroom tijdens de levensduur. Het hogere rendement is vooral te danken aan een betere warmte-isolatie van de lamp, de constantere lichtstroom bovendien aan een nieuw soort glas voor de ontladingsbuis, dat minder door natrium wordt aangetast, en aan een aangepaste vorm van de ontladingsbuis.

Het tot voor kort uitsluitend gangbare type natriumlamp was dat met een afneembare warmte-isolerende vacuümmantel (dewarvat), zie *fig. 1a* en *b*. Een voordeel van deze constructie is dat telkens wanneer de ontladingsbuis aan het eind van zijn leven is gekomen, slechts deze behoeft te worden vervangen, terwijl het vacuümglas dienst kan blijven doen voor verscheidene ontladingsbuizen achtereen.

Hoewel deze constructie vele jaren heeft voldaan en ook nu nog op grote schaal wordt toegepast, zijn er praktische nadelen aan verbonden. Het eerste is de steeds toenemende lichtabsorptie door de vervuiling waaraan het vacuümglas blootstaat, niet alleen uitwendig, maar ook inwendig. Dit laatste is een gevolg van de verre van hermetische dichting tussen lamp en vacuümglas. Bij elk warm en weer koud worden van de lamp wordt lucht uitgeblazen en weer aangezogen, en bij dit laatste komt telkens vuil mee naar binnen.

Een tweede nadeel is dat de isolerende werking van het vacuümglas op den duur vermindert, doordat het vacuüm slechter wordt. In tegenstelling met de vervuiling is deze kwaal niet direct waarneembaar, maar het rendement van de lamp kan er ernstig onder lijden, zowel bij oude als bij nieuwe lampen

Om deze nadelen te vermijden, heeft men enig

*) Hoofdindustriegroep Licht, Ontwikkelingslaboratorium Turnhout (België).

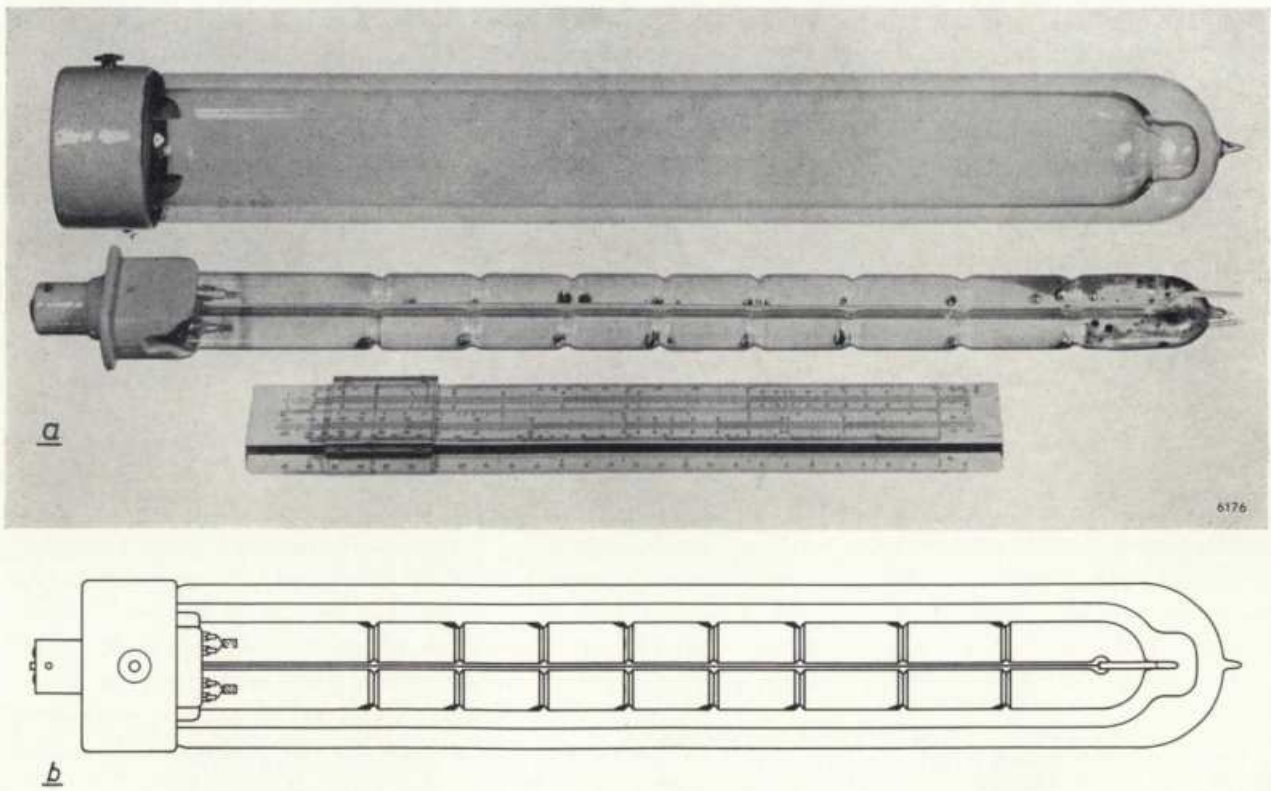


Fig. 1. *a*) Foto en *b*) doorsnede van de natriumlamp type SO 140 W. De U-vormige ontladingsbuis is omgeven door een afneembare vacuümmantel.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

jaren geleden constructies ontworpen waarbij de ontladingsbuis en de isolerende mantel één ondeelbaar geheel vormden. Deze gedachte was geenszins nieuw; reeds in de jaren '30 zijn zulke lampen in de handel geweest [1]). De voordelen van deze duurdere oplossing zijn echter pas sinds kort volledig tot hun recht kunnen komen doordat nieuwe technieken bovendien een hoger rendement en een constantere lichtstroom binnen het bereik van de mogelijkheden hebben gebracht.

gen, waarmee een veel constantere lichtstroom werd verkregen.

Bij de verdere ontwikkeling van het integrale type bleek dat met een wat gecompliceerder constructie nog grotere winst te behalen was, zowel in rendement als in constantheid van de lichtstroom. Zo heeft door een betere warmte-isolatie het rendement de mijlpaal van 100 lumen per watt, in een voor de praktijk geschikte lamp, kunnen bereiken en zelfs overschrijden.

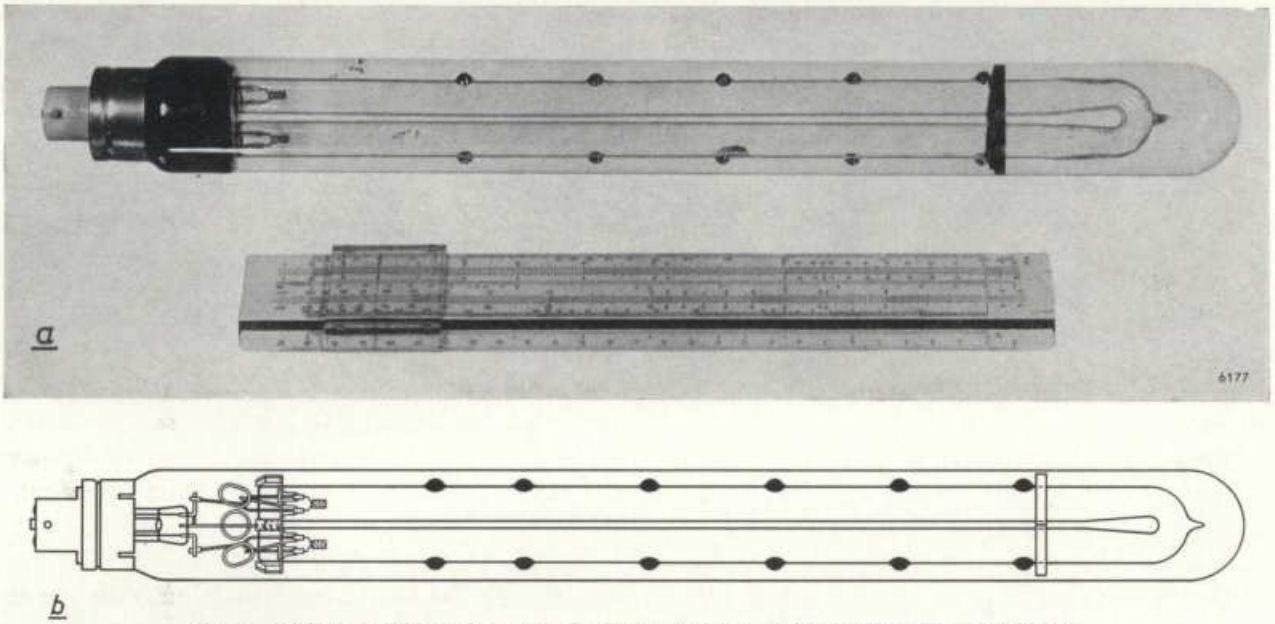


Fig. 2. *a*) Foto en *b*) doorsnede van de natriumlamp type SO 140 W met niet-afneembare enkelwandige vacuümmantel. De ontladingsbuis is voorzien van uitstulpingen, die het natrium vasthouden.

Bij dit „integrale" type lamp zoals Philips het in modernere vorm in 1958 op de markt heeft gebracht, was de losse dubbelwandige vacuümmantel vervangen door een enkelwandige buisvormige ballon, waarin de ontladingsbuis vast was gemonteerd. De ruimte tussen ontladingsbuis en ballon was geëvacueerd. Omdat een moderne gettermethode was toegepast, kon het hoogvacuüm gehandhaafd worden tijdens de gehele levensduur van de lamp. De ontladingsbuis was voorzien van kleine uitstulpingen, waarin het natrium was aangebracht (*fig. 2a* en *b*) [2]). Er is een reeks van deze lampen ontwikkeld, voor 45, 60, 85 en 140 W. Lampen met losse vacuümmantel konden zonder meer door lampen van het nieuwe type worden vervan-

De betere warmte-isolatie is verkregen door binnen de geëvacueerde ballon en rondom de U-vormige ontladingsbuis nog een losse glazen cilinder aan te brengen (*fig. 3a* en *b*). Deze cilinder, schutbuis genoemd, straalt een deel van de warmte die van de ontladingsbuis uitgaat, naar het inwendige terug [3]).

Bij de lampen van het in fig. 2 afgebeelde type straalde de buitenballon ook reeds energie naar de ontladingsbuis terug. Met de dubbelwandige constructie volgens fig. 3 echter is het effect aanzienlijk groter, doordat de terugstralende glaswand (schutbuis) warmer kan worden dan in het geval van de enkelwandige constructie. Dientengevolge is het warmteverlies kleiner en het rendement dus hoger. Deze verbeterde constructie wordt toegepast in lampen voor 45, 60, 85, 140 en 200 W, die in 1960

[1]) W. Uyterhoeven, Elektrische Gasentladungslampen, Springer, Berlijn 1938, blz. 216.

[2]) Voor een nadere beschrijving van dit type lamp, zie: W. Verwey en M. H. A. van de Weijer, New sodium lamps, Communic. P-59.22 van de 14de zitting van de Commission Internationale de l'Eclairage, Brussel 1959.

[3]) In 1955 heeft de (Engelse) General Electric Co. een natriumlamp in de handel gebracht met een nauwe schutbuis om elk van de beide benen van de U-vormige ontladingsbuis.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

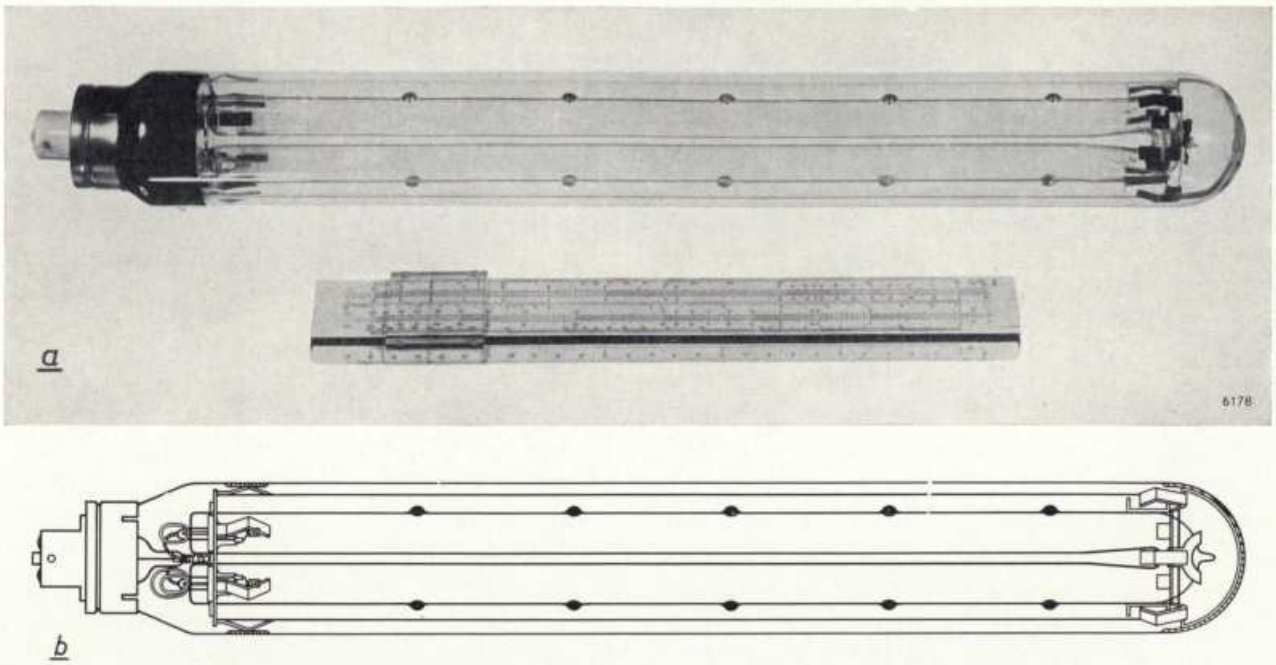


Fig. 3. *a*) Foto en *b*) doorsnede van de natriumlamp type SOI 140 W, met vacuümmantel en uitstulpingen als in fig. 2. Tussen de ontladingsbuis en de buitenballon bevindt zich een schutbuis, die de warmte-isolatie verbetert.

onder de type-aanduiding SOI op de markt zijn gebracht.

Tabel I geeft een overzicht van de lichtrendementen die met de constructies van 1956, 1958 en 1960 zijn verkregen. De tabel geldt voor lampen van 140 W.

Tabel I. Lichtrendement van natriumlampen van 140 W, volgens constructies van recente jaren.

Jaar	1956	1958	1960
Constructie	ontladingsbuis in los dewarvat	ontl. buis in enkelvoudige vacuümballon	ontl. buis met schutbuis in vacuümballon
Lichtrendement (lm/W)			
na 100 h	79	82	100
na 4000 h	52 *)	68	88

*) In schoon dewarvat.

Om de geschetste ontwikkeling toe te lichten en een inzicht in de verdere mogelijkheden van de natriumlamp te geven, moeten we wat dieper ingaan op de verschillende factoren die op de lichtstroom, op het afnemen daarvan tijdens het branden en op de levensduur invloed hebben. De belangrijkste van deze factoren zijn:

1) de warmte-isolatie rondom de ontladingsbuis,
2) de edelgastoevoeging (deze dient om de ontlading te starten en in stand te houden),
3) de vormgeving en de dimensionering van de ontladingsbuis,
4) de samenstelling van het glas waarvan de ontladingsbuis wordt gemaakt.

De invloed van de warmte-isolatie op het lichtrendement en op de lichtstroom

De natriumlamp heeft tot taak, zo efficiënt mogelijk de resonantiestraling van natrium op te wekken (golflengten 589,0 en 589,6 nanometer).

Het lichtrendement hangt sterk af van de dampspanning van het natrium. Aangezien alle natriumlampen werken met verzadigde natriumdamp, wordt deze dampspanning bepaald door de temperatuur van de ontladingsbuis. Bij te lage dampspanning (te lage temperatuur) is het aantal natriumatomen dat voor aanslag in aanmerking kan komen, te gering. Bij te hoge dampspanning gaat de absorptie van de resonantiestraling door de natriumatomen (zelfabsorptie) overheersen. Bijgevolg is er een optimale dampspanning, en deze bedraagt ongeveer 4×10^{-3} torr (1 torr $\approx$ 1 mm Hg). Deze druk behoort bij een temperatuur van de buis van ca. 270 °C [4]).

De temperatuur van de ontladingsbuis wordt enerzijds bepaald door het opgenomen vermogen, anderzijds door de warmte-isolatie. Gaan we ervan uit dat voor alle lampconstructies een zelfde buis-

[4]) Uyterhoeven, loc. cit. blz. 205. Deze optimale temperatuur hangt overigens nog af van andere lampparameters, b.v. de druk van het toegevoegde edelgas (zie blz. 232 van dit artikel). Dit verklaart dat men elders in de literatuur wel andere optima vermeld vindt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

temperatuur van b.v. 270 °C wenselijk is, dan betekent dit dat bij verandering van de warmte-isolatie tevens het opgenomen vermogen gewijzigd moet worden, ten einde de optimale temperatuur te handhaven: bij verbeterde isolatie moet men het vermogen verkleinen, en omgekeerd. Als we de eigenschappen van bepaalde lampconstructies met elkaar vergelijken, doen we dit steeds met elk van de lampen in zijn optimale instelling. De lampconstructie met de beste warmte-isolatie heeft dan het hoogste lichtrendement. Om een goede warmte-isolatie te verkrijgen, moet men zowel het convectie- en geleidingsverlies als het totale stralingsverlies tegengaan.

Het convectie- en geleidingsverlies is voornamelijk afhankelijk van het vacuüm rondom de ontladingsbuis. *Fig. 4a* en *b* tonen hoe bij lampen die niet en die wel aan wind zijn blootgesteld, het rendement η resp. het optimale vermogen P afhangt van de resterende druk p_0 in de vacuümmantel. Uit de grafiek blijkt duidelijk dat het vacuüm in de buitenballon aan hoge eisen moet voldoen. Het wordt in stand gehouden door een bariumspiegel op het inwendige van de buitenballon. De op den duur vrijkomende gassen worden vrijwel alle door het barium chemisch gebonden. De spiegel wordt natuurlijk aangebracht op een zodanige plaats dat hij de uitstraling van licht niet belemmert.

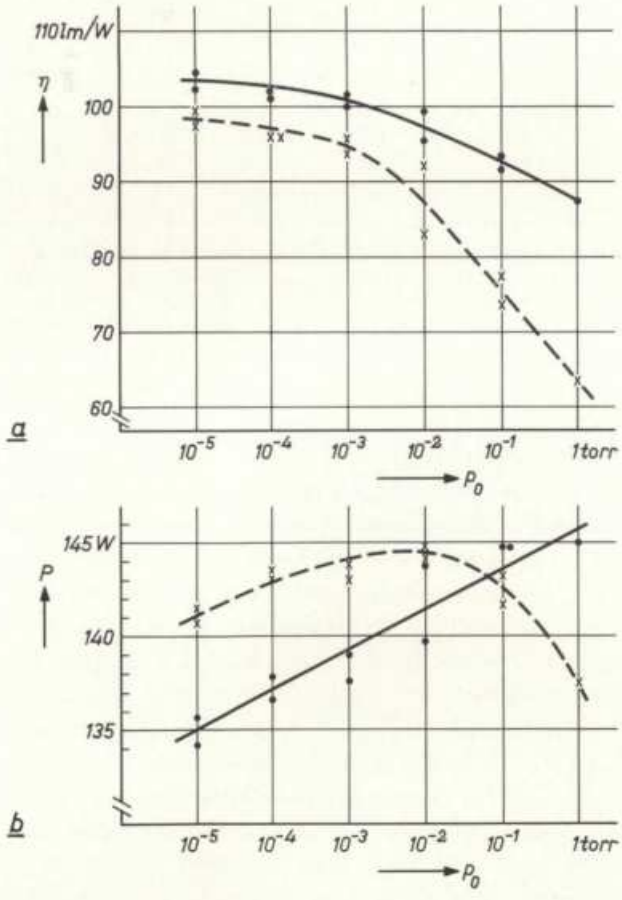


Fig. 4. *a*) Lichtrendement η en *b*) door de lamp opgenomen optimaal vermogen P, voor een natriumlamp type SOI 140 W, als functie van de druk p_0 van het gas (argon) in de buitenballon. De getrokken krommen gelden zonder wind, de gestippelde met wind.

Het stralingsverlies kan worden beperkt op twee manieren:

a) De door de ontladingsbuis uitgestraalde warmte-energie wordt zo goed mogelijk geabsorbeerd door een omhullende mantel. Deze wordt hierdoor warm en straalt warmte naar de ontladingsbuis terug. De genoemde schutbuizen zijn hoofdzakelijk in deze zin werkzaam.

b) De door de ontladingsbuis uitgestraalde warmte-energie wordt direct door de omhullende mantel gereflecteerd. Zoals aanstonds zal blijken, straalt de ontladingsbuis voornamelijk in het infrarood, met een top bij ca. 5 μ. Aangezien glas in dit golflengtegebied slechts ca. 14% reflecteert, moet in dit geval gebruik worden gemaakt van een deklaag die in het infrarood goed reflecteert.

Beide methodes worden in de volgende paragrafen besproken.

Beperking van het stralingsverlies door schutbuizen

De werking van de schutbuis berust dus in hoofdzaak op absorptie en voor een klein deel op reflexie van de infrarode straling. De warm geworden schutbuis straalt niet alleen naar binnen, maar ook naar buiten. De naar buiten gerichte straling kan op haar beurt worden opgevangen door een tweede schutbuis, die zich om de eerste heen bevindt, en zo vervolgens. Door het aantal schutbuizen te vermeerderen, kan men dus het stralingsverlies steeds verder beperken. De vermindering van het verlies wordt echter met iedere volgende schutbuis kleiner, terwijl de lichtabsorptie (2,5 tot 3% per schutbuis) meer en meer zijn schadelijke invloed doet gelden. Een en ander blijkt uit *tabel II*.

De tabel demonstreert ook duidelijk hetgeen boven al is aangestipt, namelijk dat verbetering van de isolatie gepaard gaat met een kleiner optimaal vermogen. Dit effect doet de lichtstroom sterker afnemen dan het grotere rendement de lichtstroom bij constant vermogen zou doen toenemen. De schutbuizen verbeteren dus het rendement, maar maken de lichtstroom kleiner, en tevens de lamp groter en kwetsbaarder. Om deze reden wordt bij de tegenwoordige natriumlampen niet meer dan één schutbuis toegepast.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Tabel II. Invloed van het aantal schutbuizen, telkens bij optimale belasting (P_{opt}), op de lichtstroom Φ_{la} en het lichtrendement η_{la} van de lamp (incl. schutbuizen), en op de lichtstroom Φ_t en het lichtrendement η_t van de ontladingsbuis. De getallen gelden voor een U-vormige ontladingsbuis met een inwendige diameter van 12 mm en een booglengte van 666 mm.

Dwarsdoorsnede	aantal schutbuizen	P_{opt} W	lamp Φ_{la} lm	lamp η_{la} lm/W	ontl. buis alleen Φ_t lm	ontl. buis alleen η_t lm/W
	0	127	11300	89	11600	91,5
	1	96	9400	98	9900	103
	2	80	8150	102	8800	110
	3	70	7200	103	8000	114

Beperking van het stralingsverlies door een infraroodreflecterend laagje

Voor verdere verbetering van de warmte-isolatie kan men meer verwachten van de tweede genoemde methode: het aanbrengen van een laagje rondom de ontladingsbuis dat speciaal in het infrarood goed reflecteert. Zo'n laagje, aangebracht b.v. op de schutbuis of op de binnenzijde van de buitenballon, moet het natriumlicht goed doorlaten.

Het door de ontladingsbuis in het infrarood uitgestraalde vermogen kan bij benadering worden gelijkgesteld aan dat van een zwarte straler met een temperatuur van ca. 545 °K (270 °C). Bij deze temperatuur is het door een zwart lichaam uitgestraalde vermogen spectraal verdeeld zoals in *fig. 5* is getekend. Het aan te brengen laagje zal dus vooral bij golflengten van ongeveer 5 μ goed moeten reflecteren.

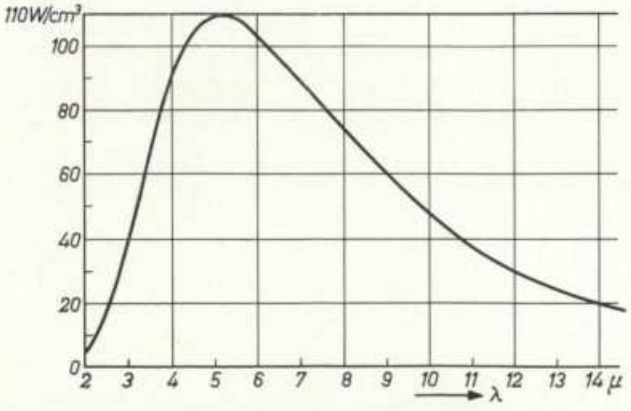


Fig. 5. Spectrale verdeling van het door een zwart lichaam bij 545 °K uitgestraalde vermogen. Uitgezet is het vermogen in watts per cm² stralende oppervlakte en per cm golflengte-interval.

Omstreeks 1930 reeds is bij Philips een onderzoek gedaan omtrent de bruikbaarheid van metaallaagjes als infraroodreflector voor natriumlampen [5]). Voortbouwend op dit onderzoek hebben Kauer (Philips Zentrallaboratorium GmbH, Laboratorium Aken) en Van Alphen (Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven) de mogelijkheden van reflecterende laagjes opnieuw bestudeerd. Zonder in te gaan op de theorie van deze laagjes, willen we hier enige resultaten vermelden van het onderzoek aan metaal- en aan metaaloxydelaagjes.

1) Metaallaagjes. *Fig. 6* toont, als functie van de dikte, de reflexiecoëfficiënt van een goudlaagje bij een golflengte van 5,29 μ en de doorlatingscoëfficiënt bij een golflengte van 0,59 μ (natriumlicht).

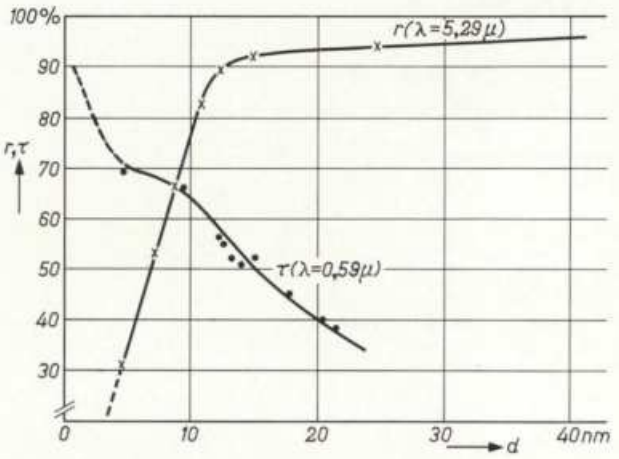


Fig. 6. Als functie van de dikte d van vlakke goudlaagjes zijn uitgezet de reflexiecoëfficiënt r van de laagjes bij een golflengte $\lambda = 5{,}29\ \mu$ en de doorlatingscoëfficiënt τ bij $\lambda = 0{,}59\ \mu$ (natriumlicht).

Het komt er nu op aan, voor de dikte van het laagje het gunstigste compromis tussen infraroodreflexie en lichtdoorlating te sluiten. Te dien einde is een reeks gelijksoortige natriumlampen vervaardigd, elk met een schutbuis waarop een laagje goud was aangebracht met bij ieder exemplaar een andere dikte. De lampen verschilden dus in warmte-isolatie en hadden dientengevolge ieder een andere optimale belastingstoestand. In *fig. 7* is grafisch voorgesteld hoe het optimale vermogen, het maximale lichtrendement en de totale lichtstroom afhangen van de dikte van de goudlaag.

Het verloop van het lichtrendement kan globaal als volgt worden verklaard. Bij dikten kleiner dan 4 nm is de reflexie in het infrarood vrijwel nihil, terwijl de laag toch al merkbaar licht absorbeert. Laagjes van deze geringe dikte verlagen dus het

[5]) Oostenrijks octrooi no. 134 018, verleend in 1933, op naam van W. de Groot.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

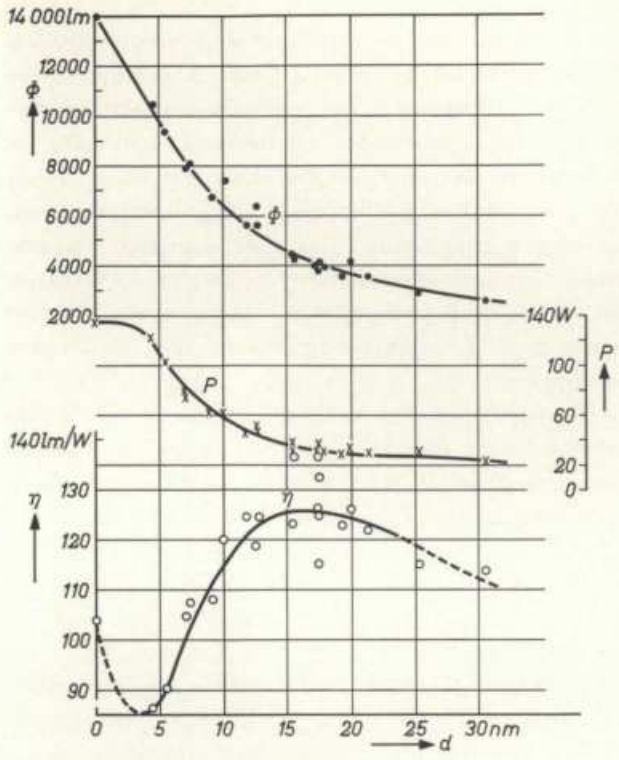


Fig. 7. Lichtstroom Φ, lampvermogen P en rendement η van een reeks natriumlampen bij optimale belasting, als functie van de dikte d van de goudlaag waarvan de schutbuis was voorzien. Afgezien van deze goudlaag, waren de lampen van het type SOI 140 W (ontladingsbuis diameter 15 mm, booglengte 820 mm, schutbuis diameter 50 mm, buitenballon diameter 60 mm).

rendement. Tussen 5 en 15 nm neemt de infraroodreflexie sterk toe. Ondanks de eveneens toenemende lichtabsorptie neemt het rendement met groter wordende dikte toe tot een maximum, dat in het onderhavige geval bij 15 nm de hoge waarde van 125 lm/W had. Bij lagen dikker dan 15 nm is de toeneming van de reflexiecoëfficiënt van geen belang meer en overheerst de toenemende lichtabsorptie, hetgeen resulteert in een dalend rendement.

Hoewel door het aanbrengen van een laagje goud van de juiste dikte het lichtrendement dus kan worden opgevoerd van ca. 100 tot ca. 125 lm/W, gaat dit gepaard met een aanzienlijke vermindering van de lichtstroom, namelijk van ca. 14 000 tot ca. 4000 lm. Dit is de reden waarom lampen van dit soort niet in de handel zijn gebracht. Wel bestudeert men nog mogelijkheden om de doorlating van licht te verbeteren door op de goudlaag een ander laagje aan te brengen dat deze voor licht minder reflecterend maakt.

2) Metaaloxydelaagjes. Uit de klassieke elektronentheorie van de metalen was al bekend dat stoffen met een tamelijk grote concentratie van vrije ladingdragers goed zullen reflecteren in het infrarood. Men kan dus onder de halfgeleiders stoffen met de gewenste eigenschap verwachten, voor zover de concentratie van vrije ladingdragers groot genoeg kan worden gemaakt.

Onderzoekingen zijn gedaan aan dunne laagjes metaaloxyde (op glas) waarvan bekend was dat ze doorzichtigheid paren aan een vrij groot elektrisch geleidingsvermogen [6]). De reflexiecoëfficiënt is dan, behalve van de golflengte van de straling, afhankelijk van het elektrische geleidingsvermogen. In *fig. 8* is als functie van het geleidingsvermogen de reflexiecoëfficiënt r van een laagje tinoxyde (SnO_2) weergegeven, bij een golflengte van 5 μ. In dezelfde figuur is de absorptiecoëfficiënt a van het laagje voor natriumlicht uitgezet.

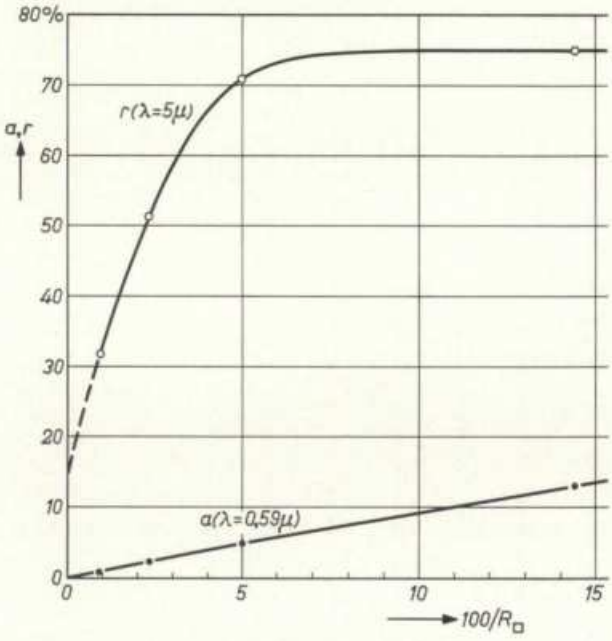


Fig. 8. Als functie van de geleiding van laagjes tinoxyde zijn uitgezet de reflexiecoëfficiënt r bij $\lambda = 5$ μ en de absorptiecoëfficiënt a voor natriumlicht. De abscis is $100/R_{\square}$, waarin $R_{\square}$ de zg. vierkantsweerstand van het laagje is (in ohms).

Vergelijken we deze krommen voor tinoxydelaagjes met die voor goudlaagjes (fig. 6), dan zien we een groot verschil in lichtdoorlating ten gunste van tinoxyde. Het is dan ook mogelijk gebleken, met lampen van de zoëven beschreven soort, doch met een tinoxyde- in plaats van een goudlaagje op het schutglas, eveneens een rendement van 125 lm/W te bereiken [7]), nu echter met een lichtstroom van ca. 8800 lm (opgenomen vermogen 70 W). Een even grote lamp met een goudlaagje behaalt een

[6]) Wegens deze eigenschap worden zulke laagjes ook gebruikt in, o.a., elektroluminescerende lichtpanelen; zie Philips techn. T. **18**, 358, 1956.

[7]) Met grotere lampen, die 200 W opnamen, is zelfs 140 lm/W bereikt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

rendement van 125 lm/W bij een lichtstroom van niet meer dan 4400 lm (opgenomen vermogen 35 W). Het ziet er derhalve naar uit dat de doorzichtige halfgeleiderlaagjes voor de praktijk gunstiger vooruitzichten bieden dan de beter reflecterende, maar ook meer licht absorberende metaallaagjes.

Tot slot wijzen wij erop dat de winst in rendement die aan het gebruik van een infraroodreflector te danken is, steeds gepaard gaat met een kleinere lichtstroom, ook al had de infraroodreflector een lichtdoorlating van 100%. Dit blijkt uit *fig. 9a*, waarin de lichtstroommetingen zijn gecorrigeerd voor de lichtabsorptie in de reflector (in dit geval een laagje goud). Hiertoe was tevoren de lichtdoorlating van schutbuizen die met goudlaagjes van verschillende dikte waren bedekt, afzonderlijk gemeten (fig. 9*b*).

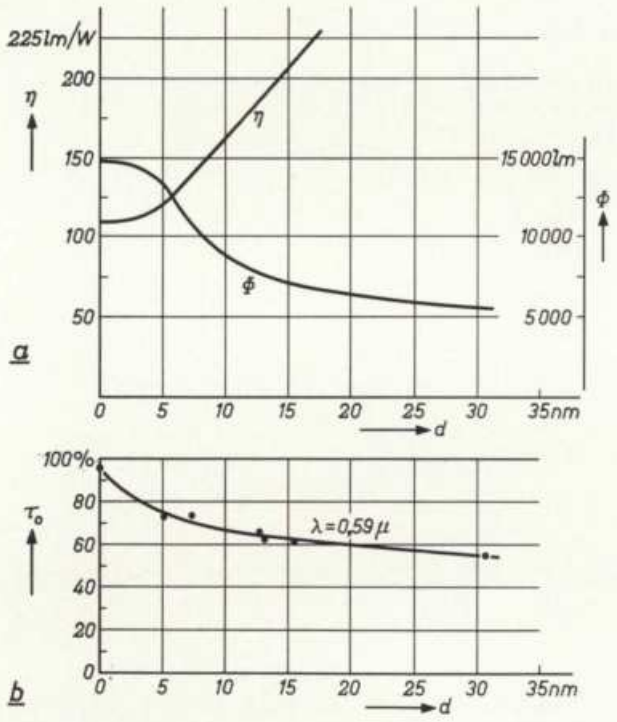


Fig. 9. *a*) Lichtstroom Φ en rendement η van een natriumlamp met een laagje goud op het schutglas, na correctie voor de lichtabsorptie in het goud. De krommen zijn afgeleid uit fig. 7 en fig. 9*b*.
b) Doorlatingscoëfficiënt τ_0 voor natriumlicht van de schutbuis met het goudlaagje, als functie van de laagdikte d. De kromme wijkt af van die in fig. 6, welke betrekking heeft op een vlakke laag (eenmalige reflexie), terwijl de bovenstaande kromme geldt voor een schutbuis, waarin het licht vele malen wordt gereflecteerd.

De invloed van de edelgasdruk op het lichtrendement

Het edelgas, dat dient om de ontlading te kunnen starten en in stand te houden, geeft men in natriumlampen een druk van ca. 10 torr. In de optimale belastingstoestand van de lamp (temperatuur ca. 270 °C) heeft het natrium een dampspanning van de orde van slechts 10^{-3} torr. Dan zijn er dus ongeveer 10^4 maal zoveel edelgas- als natriumatomen in het gasmengsel aanwezig. Dit maakt het begrijpelijk dat de soort en de druk van het edelgas grote invloed op de eigenschappen van de lamp uitoefenen. Wij zullen ons hier beperken tot het weergeven van enige geconstateerde relaties tussen de edelgasdruk en bepaalde eigenschappen van de lamp, zoals het lichtrendement en het opgenomen vermogen.

De tegenwoordige natriumlampen bevatten als edelgas neon met, ter verdere verlaging van de ontsteekspanning, een kleine toevoeging van argon en/of xenon. De invloed van de druk van een neon-argonmengsel op het lichtrendement hebben wij kwantitatief onderzocht en daartoe metingen gedaan aan een 140-W-lamp van het type SOI, in het drukgebied van 1 tot 15 torr. Uit deze metingen is gebleken dat met afnemende edelgasdruk het maximale rendement van de lamp vrij sterk toeneemt: lampen met 15 torr behaalden 94 lm/w, lampen met 1 torr 114 lm/W. Opmerkelijk is hierbij dat het vermogen dat de lamp in de toestand met maximaal rendement opneemt, bij lage edelgasdrukken kleiner is dan bij hoge. Dit betekent dat de optimale temperatuur van de ontladingsbuis in de

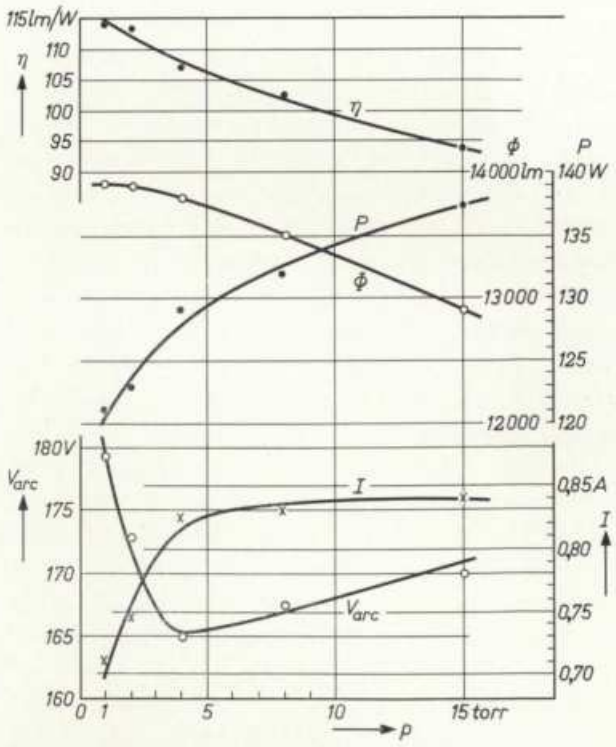


Fig. 10. Lichtstroom Φ, lampvermogen P, rendement η, boogspanning V_{arc} en lampstroom I van een optimaal belaste natriumlamp SOI 140 W, in afhankelijkheid van de edelgasdruk p (neon met 1% argon).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

twee gevallen ook verschillend is (bij het kleine vermogen lager dan bij het grote) [8]).

We constateren dus dat bij verlaging van de edelgasdruk een verlaging van de natriumdampdruk — die immers wordt bepaald door de temperatuur van de ontladingsbuis — nodig is, ten einde het rendement maximaal te maken.

In *fig. 10* is weergegeven hoe bij optimale belasting het lichtrendement, het opgenomen vermogen, de boogspanning en de lampstroom variëren met de edelgasdruk. Ook de lichtstroom Φ is uitgezet; men ziet dat Φ in dit geval door het toenemende rendement groter wordt, ondanks de voor optimale belasting nodige vermindering van het vermogen [9]).

De verbetering van het lichtrendement door verlaging van de edelgasdruk, die blijkens deze proeven mogelijk is, kan helaas slechts in beperkte mate worden verwezenlijkt. In een van de volgende paragrafen zal worden uiteengezet waarom de vuldruk niet willekeurig laag gekozen kan worden.

[8]) Wij hebben dit nog niet door rechtstreekse metingen kunnen bevestigen, maar de conclusie is wel aannemelijk, vooral als men nog in aanmerking neemt dat de toestand met het kleinste vermogen bovendien het hoogste lichtrendement heeft, zodat van dit kleine vermogen een geringere fractie in warmte wordt omgezet.

[9]) Voor iedere druk is eerst de optimale belastingstoestand bepaald door het rendement uit te zetten als functie van de lampstroom (*fig. 11*).

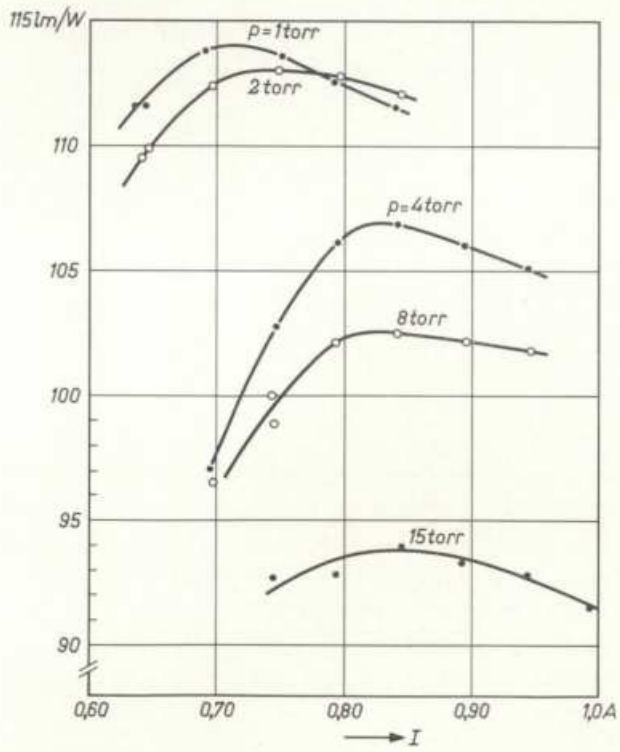


Fig. 11. Rendement η van natriumlampen SOI 140 W als functie van de lampstroom I, met de druk p van het edelgas (Ne + 1% Ar) als parameter. De maxima van de krommen corresponderen met de optimale belastingstoestanden.

De invloed van de booglengte op het lichtrendement

Als men van een natriumontlading uitsluitend de lengte varieert en de stroom constant houdt, neemt het rendement met de booglengte toe. Dit bekende effect vindt zijn oorzaak in het feit dat de verliezen aan de elektrodes bij een lange boog relatief van minder belang zijn dan bij een korte. *Tabel III* geeft hiervan een kwantitatief beeld. Men dient met dit effect in het bijzonder rekening te houden indien er een reden zou zijn om de lampen korter te maken, zoals we aanstonds zullen zien.

Tabel III. Boogspanning V_{arc}, opgenomen vermogen P en lichtrendement η van een natriumontladingsbuis als functie van de booglengte. Diameter van de buis 12 mm, stroom 0,6 A.

Booglengte mm	V_{arc} V	P W	η lm/W
280	82	45,5	80,7
405	109	61,2	89,7
615	156	85,6	98,0

Migratie van het natrium

Lichtvermindering als gevolg van migratie

Doordat de druk van het edelgas in de lamp relatief hoog is, voorziet iedere druppel natrium slechts zijn nabije omgeving van voldoende natriumdamp. Daarom neemt men steeds een vrij grote overmaat natrium en verdeelt men dit gelijkmatig in druppels over het gehele oppervlak van de ontladingsbuis. Door verschillende oorzaken echter blijft de gelijkmatige verdeling meestal niet gehandhaafd. De belangrijkste oorzaak zijn de temperatuurverschillen langs de wand van de buis: onder invloed hiervan wordt het natrium van de warmere naar de koudere plaatsen overgedestilleerd. Deze migratie heeft tot gevolg dat tijdens de levensduur de gemiddelde dampspanning van het natrium lager wordt en dus niet meer de oorspronkelijke, optimale, waarde heeft. Ten slotte zal al het natrium zich verzameld hebben op de koudste plaats van de lamp en zal de dampspanning tot een minimum zijn gedaald. Dit kan zo ver gaan dat, door de opeenhoping van al het vloeibare natrium op één plaats, in grote gedeelten van de ontladingsbuis een vrijwel totaal gebrek aan natriumdamp heerst. De natriumarme gedeelten geven dan nagenoeg geen natriumlicht meer [10]).

[10]) Uyterhoeven, loc. cit. blz. 251.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Beperking van de migratie door vervormingen van de ontladingsbuis

Door reeds bij de fabricage van de lamp de natriumdruppels aan te brengen op gedefinieerde, relatief koud blijvende, plaatsen, kan men de migratie van dit metaal in belangrijke mate verminderen. De bedoelde plaatsen kunnen kleine uitstulpingen op de buiswand zijn, waarin een natriumdruppel wordt ondergebracht. Dit principe heeft Philips toegepast in de nieuwere typen natriumlampen (fig. 2 en 3).

Een andere methode is toegepast in de onlangs door de A.E.I. Lamp and Lighting Co. op de markt gebrachte „Linear Sodium Lamp". Bij deze lamp is de buiswand op verschillende plaatsen naar binnen gedrukt, zodat aldaar de doorsnede onrond is en relatief koude plaatsen heeft, waar het natrium, als het er eenmaal is aangebracht, wordt vastgehouden [11]).

Onderdrukken van de migratie door het kiezen van een bepaalde edelgasdruk

Als er in een gedeelte van de ontladingsbuis door de een of andere oorzaak een tekort aan natriumdamp is, dan wordt daar de ontlading vrijwel uitsluitend gedragen door het edelgas. Meestal is in dat gedeelte de spanningsgradiënt groter dan in de delen waar het natrium in voldoende mate aan de ontlading deelneemt. Als gevolg van de grotere gradiënt neemt het aan natrium arme gedeelte per lengte-eenheid een groter vermogen op. Dit maakt dat het natriumarme gedeelte warmer wordt dan het natriumrijke, hetgeen de verdere migratie van het natrium in de hand werkt. De migratie heeft derhalve een cumulatief karakter en het temperatuurevenwicht dat in de uitgangstoestand bestond, is labiel.

Het blijkt evenwel mogelijk de edelgasvulling zo te kiezen dat het per lengte-eenheid gedissipeerde vermogen in de natriumarme delen kleiner is dan in de natriumrijke. In tegenstelling met het zoëven besproken geval worden dan de natriumarme delen minder warm dan de natriumrijke, en er zal natrium condenseren daar waar een tekort bestond. Het temperatuurevenwicht van zo'n buis is stabiel. In *fig. 12a* en *b* zijn de twee gevallen schematisch voorgesteld.

Kwantitatief is dit effect bestudeerd aan lampen met neon plus 1% argon, in afhankelijkheid van de edelgasdruk. De toestand waarin geen natriumdamp aan de ontlading deelneemt, is onderzocht door bij kamertemperatuur de zuilgradiënt en het vermogen per cm zuillengte te meten zonder de

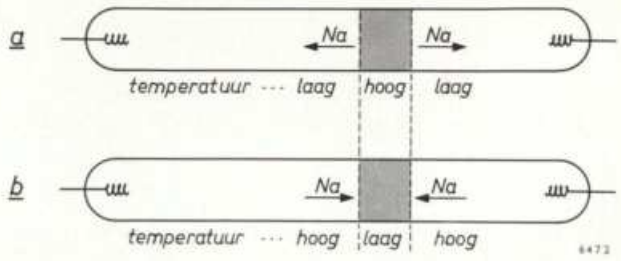


Fig. 12. Schematische voorstelling van (*a*) versterkte, (*b*) tegengewerkte migratie van het natrium. De grijze tint duidt in beide gevallen een natriumarme zone aan.
a) Het klassieke geval van relatief hoge edelgasdruk. De natriumarme zone is warmer dan de aangrenzende zones, wat de migratie in de hand werkt.
b) Als de edelgasdruk tussen bepaalde lage grenzen ligt, blijft de natriumarme zone kouder dan de aangrenzende zones, wat de migratie tegenwerkt en zelfs opheft.

lamp een kans te geven, warm te worden. Men verkrijgt dan gegevens die betrekking hebben op de natriumarme ontlading (edelgaskarakteristiek) [12]). Door vervolgens de lamp warm te laten worden, kon de karakteristiek van de ontlading in het mengsel van edelgas en natriumdamp worden opgenomen. Zowel aan de koude als aan de warme lamp zijn de boogspanning en het opgenomen vermogen gemeten in afhankelijkheid van de edelgasdruk.

In *fig. 13a* en *b* zijn de meetresultaten aan 140-W-lampen van het type SOI grafisch weergegeven. Men ziet in fig. 13*a* dat bij alle edelgasdrukken de effectieve waarde van de boogspanning in het zuivere edelgas hoger is dan in aanwezigheid van natriumdamp. Uit fig. 13*b* blijkt dat er een drukgebied is waar het opgenomen vermogen, ondanks de hogere boogspanning, kleiner is dan in het mengsel van edelgas en natriumdamp. Dit is een gevolg van het feit dat de twee ontladingen een verschillend spanningsverloop vertonen (zie de oscillogrammen *fig. 14a* en *b*), en wel zodanig dat de vormfactor — en daardoor ook de arbeidsfactor a — bij de ontlading in edelgas met natriumdamp groter is dan die bij de ontlading zonder natriumdamp. Aan de bovengenoemde lampen is gemeten: $a = 0{,}83$ bij de edelgasontlading, $a = 0{,}94$ bij de ontlading in edelgas met natriumdamp.

In het gebied van edelgasdrukken van 3 tot 8 torr mag men op grond van de veroorzaakte temperatuurverschillen zelfstabilisatie van de natriumverdeling verwachten. Vermindering van de lichtstroom, voor zover veroorzaakt door migratie, wordt dus tegengegaan.

[11]) R. F. Weston, High-output sodium lamps, Electrical Times **135**, 719-722, 1959.

[12]) In een afzonderlijke buis, zonder natrium, is nagegaan of de edelgaskarakteristiek verschillend was voor 20 °C en 270 °C. Dit bleek niet het geval te zijn.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

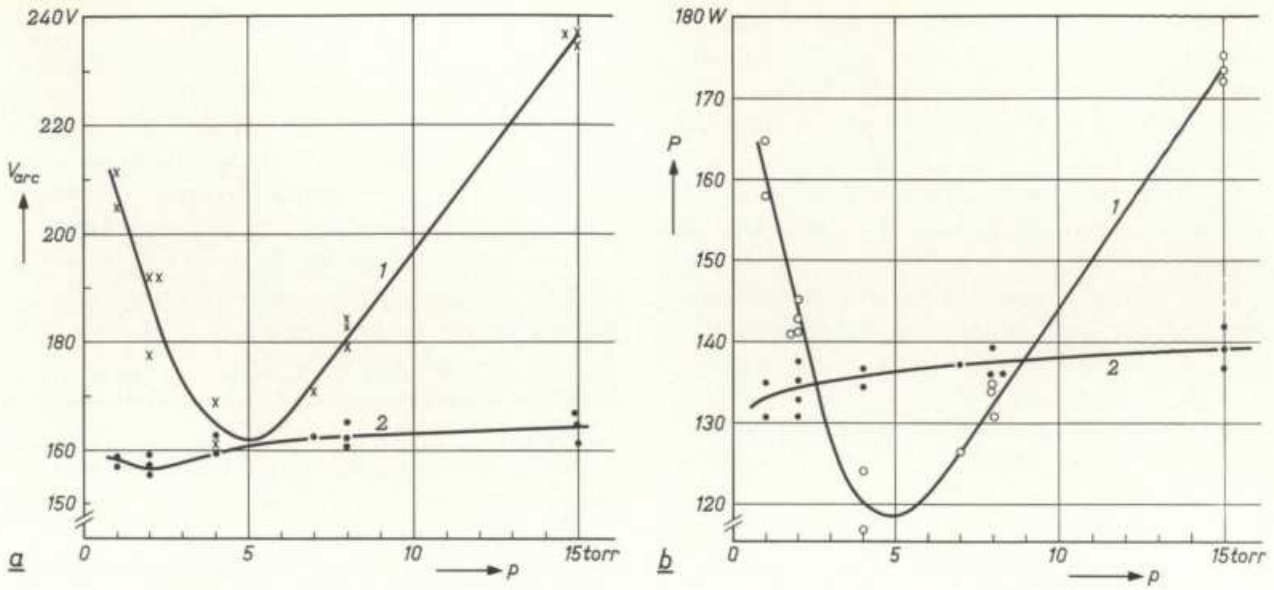


Fig. 13. *a*) Boogspanning V_{arc} (effectieve waarde) en *b*) lampvermogen P als functie van de druk p van het edelgas (Ne + 1% Ar); krommen *1* zonder, krommen *2* met natriumdamp. Gemeten aan een standaardlamp SOI 140 W.

Eenvoudigheidshalve is hier de invloed van de edelgasdruk op de optimale instelling van de lamp verwaarloosd. In feite moeten de stromen voor maximaal rendement, zoals beschreven, bij lagere edelgasdrukken kleiner zijn. Op het hier beschreven effect heeft dit echter geen invloed, het bewuste drukgebied blijft vrijwel ongewijzigd.

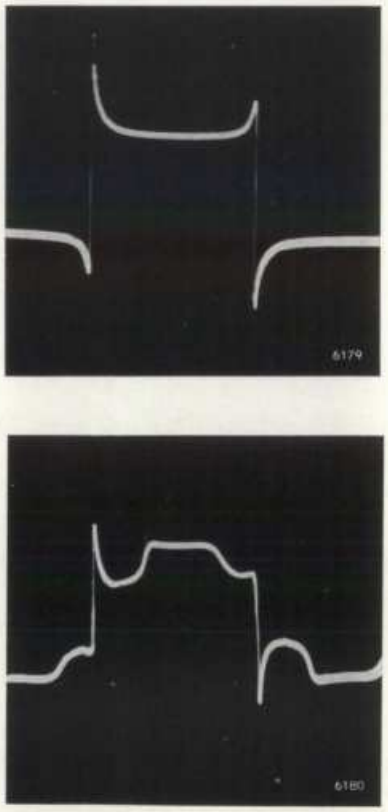


Fig. 14. Oscillogrammen van de boogspanning van een ontlading in edelgas (Ne + 1% Ar, druk 8 torr), *a*) zonder, *b*) met natriumdamp. Gemeten aan een standaardlamp SOI 140 W, lampstroom 0,9 A. Het verschil in krommevorm verklaart dat in geval (*a*) de vormfactor kleiner is dan in geval (*b*).

Een duurproef met 140-W-lampen van het type SOI, met 6 en met 9 torr edelgasdruk, heeft het stabiliserende effect van de lagere druk bevestigd. In *tabel IV* zijn de gemeten rendementen vermeld. Na 5000 uur was in de lampen met 9 torr een duidelijke migratie waar te nemen, terwijl in de lampen met 6 torr buiten de oorspronkelijke plaatsen nog vrijwel geen natrium aanwezig was.

Tabel IV. Rendement van 140-W-natriumlampen type SOI tijdens de levensduur, met 9 en 6 torr edelgasdruk (Ne + 0,5 % Ar).

Edelgasdruk	rendement in lm/W, gemeten na					
	100 h	1000 h	2000 h	3000 h	4000 h	5000 h
9 torr	97,7	94,6	91,9	88,2	81,7	81,4
6 torr	102,7	97,9	96,0	94,6	95,8	93,9

Lichtvermindering door bruin worden van het glas

Natrium is een chemisch bijzonder agressieve stof, vooral in dampvorm. Het tast dan ook verreweg de meeste soorten glas aan. De oppervlaklaag van het glas, die aan de natriumdamp blootstaat, neemt een grote hoeveelheid natrium op en wordt daardoor bruin. Men heeft in bepaalde gevallen concentraties van $2{,}1 \times 10^{22}$ atomen Na per cm^3 in de bruine laag vastgesteld; dit betekent dat de gemiddelde afstand tussen de natriumatomen er minder dan 2 maal zo groot is als in metallisch natrium [13]).

[13]) J. W. Wheeldon, Absorption of sodium and argon by glass, Brit. J. appl. Phys. **10**, 295-298, 1959.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Het bruin worden van het glas gaat uiteraard gepaard met een aanzienlijke absorptie van licht. Door het opnemen van natrium verandert het glas bovendien van samenstelling en daardoor van uitzettingscoëfficiënt, wat spanningen in het glas tot gevolg heeft. Deze spanningen kunnen zo groot worden dat de lamp vroegtijdig aan zijn eind komt door sprong.

Ten einde deze ongewenste effecten te voorkomen, heeft men speciale soorten glas ontwikkeld, die de invloed van natriumdamp onder omstandigheden zoals die in een natriumlamp heersen, vrijwel zonder bruin te worden weerstaan. Een groot bezwaar van deze niet bruin wordende glassoorten is echter dat ze in het algemeen in hoge mate argon adsorberen.

De gaslevensduur van de lamp

Zoals gezegd, bestaat bij de tegenwoordige lampen het toegevoegde edelgas steeds uit neon met kleine bijmengsels van argon en/of xenon. Deze bijmengsels zijn voor het verlagen van de ontsteekspanning essentieel [14]). Tijdens de levensduur neemt de concentratie van de bijmengsels voortdurend af doordat ze, vooral aan de glaswand, worden geadsorbeerd. Ten slotte bestaat het vulgas uit nagenoeg zuiver neon, waardoor de ontsteekspanning zo hoog wordt dat de lamp bij de beschikbare open spanning niet meer ontsteekt. Men zegt dan dat de lamp het eind van zijn „gaslevensduur" heeft bereikt (in tegenstelling met b.v. de „katodelevensduur").

De snelheid waarmee de glaswand edelgassen adsorbeert, hangt vooral van de volgende factoren af:

1) de druk van het edelgas,
2) de spanningsgradiënt in de zuil,
3) de samenstelling van het glas van de ontladingsbuis.

Terwijl de lamp brandt, worden er, behalve natriumionen, ook (positieve) edelgasionen gevormd, in het bijzonder van argon, dat een lagere ionisatiespanning heeft dan neon. Deze ionen worden naar de negatief geladen glaswand getrokken, die ze met een zekere energie treffen. Is deze energie groot genoeg, dan worden de ionen — al of niet na recombinatie met elektronen — door de wand vastgehouden. De energie waarmee de ionen de wand treffen, neemt toe met de veldsterkte, dus met de spanningsgradiënt in de zuil en ook met de vrije weglengte, dus met afnemende druk van het edelgas. Of de wand het ion inderdaad zal vasthouden, hangt dan voorts nog af van de structuur van het glas.

In *fig. 15* is voor twee verschillende samenstellingen van het glas en als functie van de gradiënt in

[14]) F. M. Penning, Über Ionisation durch metastabile Atome, Naturwiss. **15**, 818, 1927; Über den Einfluss sehr geringer Beimischungen auf die Zündspannung der Edelgase, Z. Phys. **46**, 335-348, 1927/28.

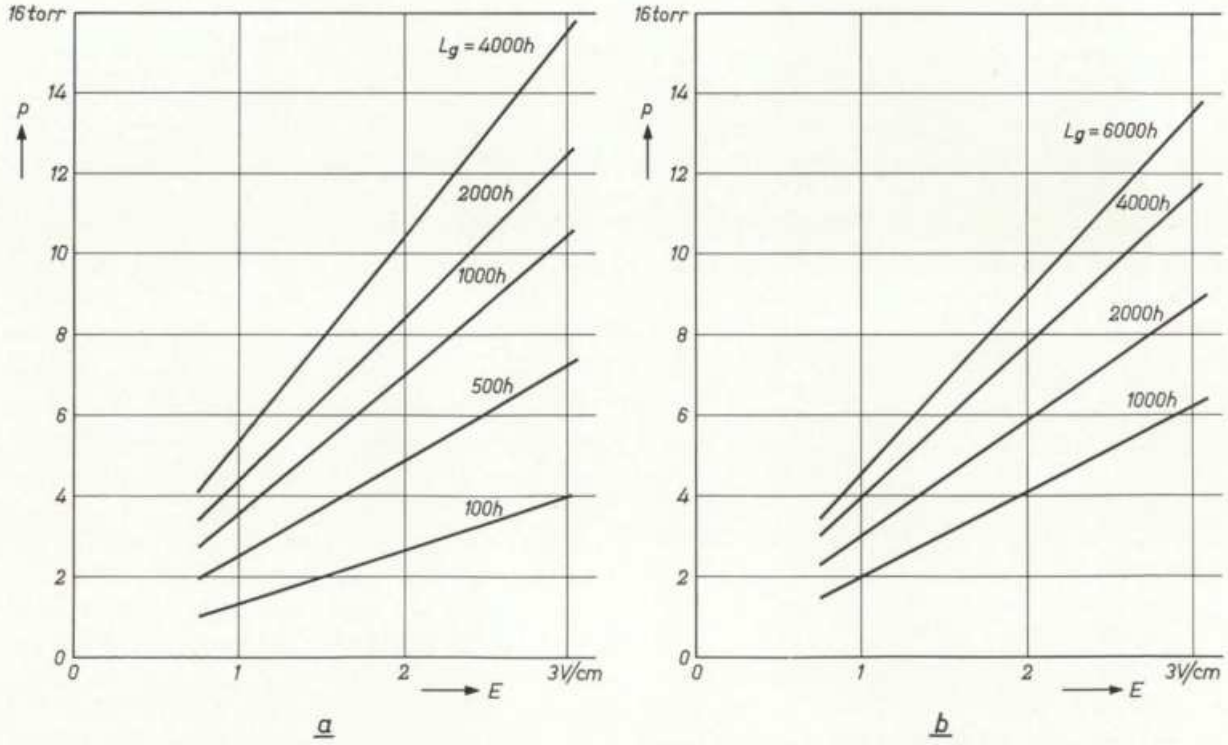


Fig. 15. De laagste edelgasdruk p (Ne + 0,5% Ar) die nodig is om een natriumlamp een bepaalde gaslevensduur L_g te doen bereiken, als functie van de spanningsgradiënt E in de zuil. De lijnen b gelden voor een betere (minder argon-adsorberende) glassoort dan de lijnen a.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

de zuil de vuldruk van het edelgas uitgezet die nodig is om de lamp een bepaalde gaslevensduur te geven. Het betreft hier proeflampen die gevuld waren met neon plus 0,5% argon. Uit de grafieken blijkt dat de gaslevensduur het langst is als men de gasdruk relatief hoog kiest en de gradiënt in de zuil klein; de invloed van de samenstelling van het glas blijkt groot te zijn.

Een hoge edelgasdruk is natuurlijk al heel eenvoudig te realiseren, doch leidt, zoals we hebben gezien, tot een laag rendement en tot een sterke vermindering van de lichtstroom tijdens de levensduur. Beide redenen pleiten dus juist voor een lage edelgasdruk.

Een kleine spanningsgradiënt in de zuil is te verkrijgen door de ontladingsbuis wijd te kiezen. Om een natriumlamp de juiste werktemperatuur te doen bereiken, moet men het kiezen van een wijdere buis doen samengaan met een vergroting van de stroom, dus — bij een bepaald gevraagd vermogen van de lamp — met verlaging van de lampspanning, d.i. met verkorting van de lamp. Lagere lampspanning betekent evenwel relatief grotere invloed van de elektrodeverliezen, dus verlaging van het rendement (zie tabel III). Dit maakt dat we in de vrijheid om de spanningsgradiënt te verkleinen, eveneens beperkt zijn.

Vrijwel de volle zwaarte van het probleem van de gaslevensduur komt derhalve te rusten op de samenstelling van het glas.

Zoals we boven al hebben opgemerkt, zijn over het algemeen juist de glassoorten die onder invloed van natriumdamp niet verkleuren, ongunstig wat betreft de adsorptie van edelgas. Onlangs echter zijn glassoorten ontwikkeld die in beide opzichten relatief gunstige eigenschappen vertonen [15]). Met een dergelijke glassoort kon de druk van het neon-argonmengsel verlaagd worden tot 8 torr bij een gradiënt van 1,8 V/cm in de zuil, waarmee een gaslevensduur van ten minste 6000 uur is verzekerd.

Een blik in de toekomst

In het kort willen we nu nog nagaan, welke verdere ontwikkeling van de natriumlampen men in een niet te verre toekomst mag verwachten.

Warmte-isolatie

Op grond van de boven gegeven uiteenzetting zal het duidelijk zijn dat er in het gebruik van infraroodreflecterende lagen nog een ruime ontwikkelingsmogelijkheid is. Het is geenszins ondenkbaar dat men langs deze weg praktisch bruikbare natriumlampen zal weten te construeren met een rendement van 150 lm/W of nog meer. Deze lampen zullen echter volumineus zijn, daar bij verbetering van de warmte-isolatie de optimale temperatuur van de lamp slechts gehandhaafd kan worden door de belasting van de ontladingsbuis per cm² oppervlakte te verkleinen.

Een tweede, hiermee parallel lopende, ontwikkelingsmogelijkheid is daarom de constructie van natriumlampen die een grote lichtstroom paren aan relatief kleine afmetingen. Zulke lampen zou men bewust een slechte warmte-isolatie moeten geven, ten einde een groot lampvermogen mogelijk te maken. Zo is bij een ontladingsbuis van het type SOI 140 W gebleken dat deze zonder isolerende mantel bij 300 W een lichtstroom van ruim 19 000 lm geeft, zodat het rendement nauwelijks 60 lm/W is. Door middel van een zeer goed warmte-isolerende en lichtdoorlatende mantel zou men het rendement van dezelfde ontladingsbuis kunnen opvoeren tot misschien wel 200 lm/W; het opgenomen vermogen zou dan nog slechts 35 W bedragen en de lichtstroom 7000 lm. Deze sterk uiteenlopende mogelijkheden zijn wellicht beide van belang. Men zal zich dus in dat geval gaan toeleggen zowel op de ontwikkeling van lampen met maximaal rendement als op die van lampen met maximale lichtstroom.

Edelgasdruk

Het gebruik van lagere edelgasdrukken dan tot dusverre kan leiden tot verdere verhoging van het rendement. Dit zal gepaard kunnen gaan met een lichtstroom die tijdens de levensduur nagenoeg geen vermindering vertoont. Een en ander zou al bereikt kunnen worden met een neon-argondruk van 5 tot 4 torr. De te snelle adsorptie van argon door het glas van de tegenwoordige samenstelling maakt het overgaan tot zulke lage drukken vooralsnog onmogelijk. Men mag echter aannemen dat op het gebied van de ontwikkeling van niet bruin wordende en weinig edelgas adsorberende glassoorten het laatste woord nog niet is gesproken.

Verlaging van de edelgasdruk tot ongeveer 2 of 3 torr zou gecombineerd kunnen worden met het gebruik van een zo kleine hoeveelheid natrium per lamp dat bij de werktemperatuur de overmaat vloeibaar natrium zeer gering is (evenals bij „TL" lampen de overmaat vloeibaar kwik zeer gering is). De thans gebruikelijke uitstulpingen van de ontladingsbuis (fig. 2 en 3) konden dan achterwege blijven zonder dat er zich in hinderlijke mate migratie zou voordoen.

[15]) Vooral dank zij het uitvoerige onderzoek door C. M. La Grouw, Glasontwikkelingscentrum, Eindhoven.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Als men, in plaats van een edelgasmengsel, één zuiver edelgas koos, zou men nu al de gasdruk zeer laag kunnen kiezen, met alle gunstige gevolgen van dien. Men zou dan weliswaar lampen met een zeer hoge ontsteekspanning krijgen, wat echter bij gebruik van een aangepast voorschakelapparaat geen onoverkomelijk bezwaar behoeft te zijn. Hoe laag men dan met de druk kan gaan, wordt bepaald door de katodelevensduur, die met dalende edelgasdruk korter wordt.

Gebruik van andere edelgassen

Het is niet uitgesloten dat men, na grondige studie van de eigenschappen van gasontladingen in mengsels van edelgassen en natriumdamp, tot de conclusie komt dat andere edelgassen als toevoeging nog betere mogelijkheden bieden dan het klassieke neon. In gevallen met slechte warmte-isolatie b.v. bleek helium tot een hoger rendement te leiden dan neon.

Hernieuwde fundamentele bestudering van de natriumontlading zal de kloof die thans nog bestaat tussen het praktisch bereikte rendement en het theoretisch hoogst mogelijke rendement — dat in de buurt van 450 lm/W ligt — verder kunnen verkleinen. Voorlopig echter maant de breedte van deze kloof, ondanks de bereikte resultaten, nog tot bescheidenheid.

Samenvatting. Recente verbeteringen aan de natriumlamp betreffen vooral het lichtrendement. Voor het eerst is met een voor de praktijk geschikte lichtbron de mijlpaal van 100 lm/W bereikt en zelfs overschreden.

De achtergronden van deze en de in de toekomst nog te verwachten vooruitgang worden beschreven. In het bijzonder wordt aandacht gewijd aan de invloed van de warmte-isolatie, van de edelgasdruk en van de samenstelling van het glas.

Men mag verwachten dat het gebruik van infraroodreflecterende laagjes — in het bijzonder van doorzichtige halfgeleiders, zoals tinoxyde — op glas het rendement nog aanmerkelijk zal doen toenemen. Een verhoging tot 150 lm/W wordt mogelijk geacht. Naarmate de ontwikkeling in deze richting voortschrijdt, zullen de lampen echter volumineuzer worden.

Hoopgevend is de ontwikkeling van glassoorten die onder invloed van natriumdamp niet bruin worden en die tevens weinig argon absorberen. Bij verdere vooruitgang op dit gebied zal de edelgasdruk in natriumlampen zo ver verlaagd kunnen worden dat de lichtstroom tijdens de levensduur nagenoeg constant is. De thans gebruikelijke uitstulpingen van de ontladingsbuis, die dienen om het vloeibare natrium vast te houden, zullen dan kunnen vervallen.

Behalve de ontwikkeling van lamptypen met extreem hoog rendement is wellicht een ontwikkeling te verwachten van typen met minder hoog rendement, doch met kleinere afmetingen en grote lichtstroom.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

VERLICHTING VAN VERKEERSWEGEN

door J. B. de BOER *). 628.971.6

Dit artikel beoogt een overzicht te geven van de huidige inzichten inzake de verlichting van verkeerswegen. Het eerste deel van het artikel bespreekt enige voorwaarden waaraan een verlichtingsinstallatie voor een verkeersweg moet voldoen en de belangrijkste proeven en overwegingen die geleid hebben tot het opstellen van richtlijnen voor het vervullen van de bedoelde voorwaarden.

Men gebruikt tegenwoordig voor de verlichting van verkeerswegen hoofdzakelijk gloeilampen, natriumlampen, hogedrukkwiklampen en fluorescentielampen. In het tweede deel van het artikel worden deze soorten lichtbronnen op verschillende punten met elkaar vergeleken. Het eerste punt betreft de lichtsoort. Hierbij wordt o.a. nagegaan in hoeverre deze invloed heeft op de in het eerste deel besproken richtlijnen. Het tweede punt betreft de betekenis van afmetingen, vorm en luminantie van de lichtbronnen, en het derde de gevoeligheid voor temperatuur- en spanningsvariaties.

Richtlijnen voor de verlichting van verkeerswegen

De verlichting van verkeerswegen heeft als belangrijkste taak, voor de deelnemers aan het gemotoriseerde wegverkeer gunstige omstandigheden voor zien en waarnemen te scheppen als het daglicht daartoe te zwak is. Deze verlichting moet liefst zodanig zijn dat die deelnemers niet hun eigen lichtbronnen hoeven te gebruiken. De ervaring en speciaal uitgevoerde proeven hebben geleerd dat daarbij in hoofdzaak drie voorwaarden vervuld moeten zijn: de gemiddelde wegdekluminantie moet voldoende groot zijn, de verblinding door de lantaarns van de installatie mag niet hinderlijk zijn, en de wegdekluminantie moet voldoende gelijkmatig zijn. Deze drie voorwaarden zullen we achtereenvolgens behandelen. Daarbij onderscheiden we telkens twee aspecten, nl. het „visuele comfort" en de „waarnemingsmogelijkheid". Het is namelijk meer en meer duidelijk geworden dat een waarnemingsmogelijkheid die aan redelijke eisen voldoet, geenszins garandeert dat de weggebruiker zich daarbij ook behaaglijk voelt. Exacte metingen over het visuele comfort kan men niet doen. Men kan slechts aan vele personen een oordeel over een gegeven verlichtingssituatie vragen, of elke proefpersoon de gelegenheid geven de verlichtingssituatie zo te veranderen dat hij haar aanvaardbaar acht met het oog op visueel comfort. Zoals te verwachten, lopen de beoordelingen van dezelfde situatie door verschillende personen — en ook door één proefpersoon op uiteenlopende tijdstippen — nogal uiteen. Slechts de verzameling van veel materiaal, dat door statistici deskundig wordt bewerkt, kan tot bruikbare uitkomsten leiden.

De gemiddelde wegdekluminantie

Wat de gemiddelde wegdekluminantie betreft, beschouwen wij een waarde van circa 2 cd/m² als een redelijk compromis tussen wat wenselijk is en wat technisch en economisch bereikbaar is. Afhankelijk van de te verwachten vervuiling van de lampen moet dan het ontwerp op 3 à 4 cd/m² gebaseerd zijn. Installaties waarvan het ontwerp dateert van vóór 1955, komen in gebruikstoestand — d.w.z. nadat een zekere vervuiling is ontstaan — gewoonlijk niet boven 0,5 cd/m². We zullen aan de hand van de uitkomsten van enige proeven laten zien dat 2 cd/m² voor belangrijke verkeerswegen zeker geen overdreven hoge eis is.

Om een indruk te krijgen bij welke wegdekluminantie automobilisten de behoefte krijgen aan ondersteuning door hun eigen verlichting — d.w.z. dat zij aan stadslichten niet meer voldoende menen te hebben en daarom op dimlicht overschakelen —, zijn gedurende de schemering registraties uitgevoerd van de door auto's gevoerde verlichting als functie van de gemiddelde wegdekluminantie. De resultaten zijn verzameld in *fig. 1*. De krommen *O*, *P*, *C* en *R* hebben betrekking op registraties op buitenwegen

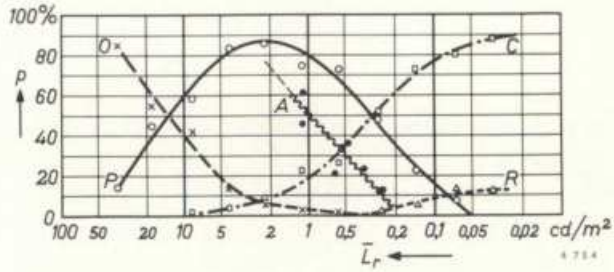


Fig. 1. Resultaten van registraties van de door auto's gevoerde verlichting als functie van de gemiddelde wegdekluminantie $\bar{L}_r$ (index r van „road"). Uitgezet is het percentage *p* der op bepaalde punten getelde wagens dat een zekere verlichting voerde. De krommen *O*, *P*, *C* en *R* hebben betrekking op onverlichte wegen gedurende de schemering: *O* = zonder licht, *P* = stadslicht, *C* = koplantaarns op dimbundel, *R* = koplantaarns op hoofdbundel. De gegolfd getekende lijn *A* betreft een telling van auto's die 's nachts met stadslicht op kunstmatig verlichte wegen rijden.

*) Hoofdindustriegroep Licht, Lichttechnisch Laboratorium, Eindhoven.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

zonder kunstverlichting en met weinig verkeer, dit laatste om beïnvloeding van de automobilisten onderling zoveel mogelijk uit te sluiten. Uit kromme C (percentage met dimlicht) blijkt dat bij 2 cd/m² slechts 10% meent ondersteuning door eigen verlichting nodig te hebben.

Om het probleem van de andere zijde te benaderen, zijn eveneens registraties uitgevoerd over automobilisten die 's nachts met stadslichten op kunstmatig verlichte wegen rijden en die dus menen de ondersteuning door eigen verlichting te kunnen ontberen. Extrapolatie van de gegolfd getekende lijn A, die het resultaat voorstelt van deze registraties, levert op dat bij 2 cd/m² ca. 75% geen ondersteuning door eigen verlichting nodig acht.

Verder hebben we, om ook langs andere weg een indruk te krijgen van de wenselijke gemiddelde wegdekluminantie, aan een groep van 16 waarnemers (merendeels ingenieurs, verantwoordelijk voor openbare verlichting in Nederlandse steden) gevraagd het „lichtniveau" te beoordelen in 70 straten met de daarin aanwezige verlichtingsinstallaties [1]). Tevens werden beoordelingen gevraagd wat betreft de algemene indruk, de ongelijkmatigheid en de verblinding. De beoordeling van het lichtniveau komt neer op een beoordeling van de wegdekluminantie waarbij de waarnemer zijn oordeel zo weinig mogelijk laat beïnvloeden door ongelijkmatigheid of verblinding. De waarnemers konden hun oordeel uitdrukken met: slecht, onvoldoende, matig, goed of uitstekend, of met een tussenliggende kwalificatie. Tevens werd de gemiddelde wegdekluminantie gemeten. *Fig. 2* toont het resultaat der beoordelingen van het lichtniveau. Ieder punt stelt het gemiddelde der 16 beoordelingen van een straat voor. (Om te kunnen middelen, zijn aan de opeenvolgende waarderingen de oneven cijfers van *1* tot en met *9* toegekend.) Door de 70 aldus verkregen punten is volgens een in de statistiek gebruikelijke methode een kromme getrokken. De waarde van de gemiddelde wegdekluminantie waarbij volgens deze kromme de waardering „goed" (cijfer 7) behoort, bedraagt 1,5 cd/m². Uit statistische analyse is gebleken dat deze waarde met een betrouwbaarheid van 95% tussen 1,3 en 1,8 cd/m² ligt. Hierbij is nog op te merken dat zeer waarschijnlijk de waarnemers het lichtniveau in een straat hoger waarderen naarmate het verkeersbelang ervan geringer is. Van de bewuste 70 straten waren er 28 van gering verkeersbelang, zodat het gevonden getal van 1,5 cd/m² aan de lage kant zal zijn. Ook uit deze proeven blijkt dus dat een waarde van 2 cd/m² een redelijke richtlijn is.

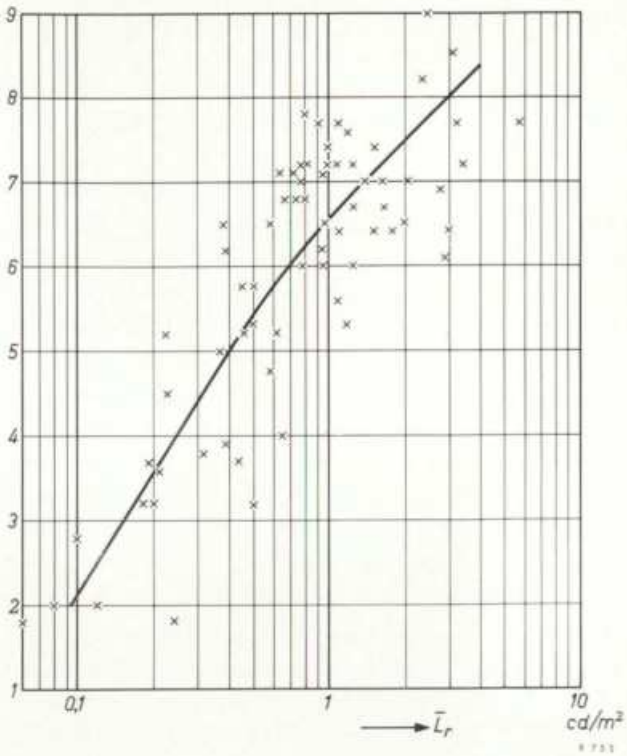


Fig. 2. Gemiddelde beoordeling van het „lichtniveau" in 70 straten door een groep van 16 deskundigen. Horizontaal is de gemiddelde wegdekluminantie $\bar{L}_r$ uitgezet, verticaal de beoordeling. De betekenis der cijfers is: 1 = slecht, 3 = onvoldoende, 5 = matig, 7 = goed, 9 = uitstekend.

De tot nu toe behandelde kwesties betroffen het visuele comfort. We wenden ons thans tot de waarnemingsmogelijkheid. Er zijn talrijke proeven verricht omtrent de waarnemingsmogelijkheid als functie van de gemiddelde wegdekluminantie. Wij hebben dergelijke proeven gedaan op een proefweg die met een speciale verlichtingsinstallatie was uitgerust [2]). Een aantal proefpersonen was op een vaste plaats op deze weg opgesteld. Op afstanden tussen 50 en 200 m van de proefpersonen konden we objecten (afmetingen 28 bij 28 cm) op de weg laten verschijnen en verdwijnen, op plaatsen en tijdstippen die de proefpersonen van te voren niet bekend waren. Zo'n object (*fig. 3*) werd waargenomen tegen het wegdek als achtergrond. De gemiddelde luminantie $\bar{L}_r$ van het wegdek (index r van „road") en de verhouding L_r/L_o — waarin L_r de luminantie voorstelt van het stuk wegdek waartegen het object wordt gezien, en L_o de luminantie van het object — waren onafhankelijk van elkaar regelbaar. We bepaalden de waarde die L_r/L_o op zijn minst moest hebben om het object zichtbaar te maken.

[1]) J. B. de Boer, F. Burghout en J. F. T. van Heemskerck Veeckens, Appraisal of the quality of public lighting based on road surface luminance and glare, Compte rendu Comm. Intern. de l'Eclairage, Brussel 1959.

[2]) J. B. de Boer, Fundamental experiments on visibility and admissible glare in road lighting, Compte rendu Comm. Intern. de l'Eclairage, Stockholm 1951.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Bij de genoemde afmetingen van de objecten bleek de afstand tot de waarnemer van weinig invloed. Kromme *1* in *fig. 4* geeft het gemiddelde van vele waarnemingen en proefpersonen. Er blijkt uit dat bij een wegdekluminantie van 2 cd/m² de waarde van L_r/L_o op zijn minst 1,9 moest zijn om onze objecten zichtbaar te maken. De waarde van 1,9 is vrij hoog: een goede norm voor de veiligheid is dat een object van 20 bij 20 cm duidelijk zichtbaar moet zijn op een afstand van 100 m indien $L_r/L_o = 1{,}5$ [3]). Volgens de weergegeven metingen is, ondanks onze grotere objectafmetingen, bij een wegdekluminantie van 2 cd/m² aan deze norm nog lang niet voldaan, zodat wat de waarnemingsmogelijkheid betreft, de eis van 2 cd/m² zelfs bescheiden is.

Ter vergelijking is in fig. 4 ook een kromme opgenomen die resultaten geeft die door Dunbar reeds in 1938 zijn gepubliceerd [4]). Bij dit onderzoek zijn waarnemingen gedaan uit een rijdende auto met objecten die 1,5 keer zo groot waren als de onze. Ook voor zijn resultaten geldt echter dat bij 2 cd/m² een object met een contrast van 1,5 nog niet waarneembaar is.

Wij hebben in 1959 experimenten uitgevoerd waarbij eveneens waarnemingen zijn verricht vanuit een rijdende auto [5]). Uit de resultaten is afgeleid dat aan de gestelde eis (objecten van 20 bij 20 cm zichtbaar op 100 m bij $L_r/L_o = 1{,}5$) kan worden voldaan — ook voor waarnemers die er niet op verdacht zijn dat in hun gezichtsveld een object zal opduiken — indien een wegdekluminantie van ten minste 2,2 cd/m² voorhanden is.

Samenvattend kunnen we zeggen dat men zowel wat visueel comfort als wat waarnemingsmogelijkheid betreft met een gemiddelde wegdekluminantie van ca. 2 cd/m² aan redelijke verlangens voldoet.

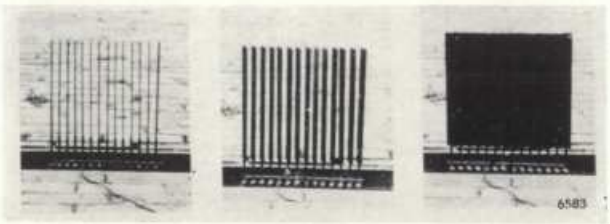


Fig. 3. Bij proeven over de waarnemingsmogelijkheid op de weg is o.a. gebruik gemaakt van objecten (afmetingen 28 × 28 cm) die bestonden uit een aantal op afstand bediende draaibare vaantjes. Met de stand van de vaantjes werd de (gemiddelde) luminantie van het object geregeld. Met de vaantjes evenwijdig aan de kijkrichting van de proefpersoon was het object voor deze onzichtbaar.

[3]) De besproken proeven zijn uitgevoerd vóór deze norm werd opgesteld; vandaar nog de afwijkende afmetingen van de objecten.

[4]) E. Dunbar, Necessary values of brightness contrasts in artificially lighted streets, Trans. Illum. Engng. Soc. (Londen) **3**, 187-195, 1938.

[5]) Zie het artikel [1]), speciaal blz. 9 en 10.

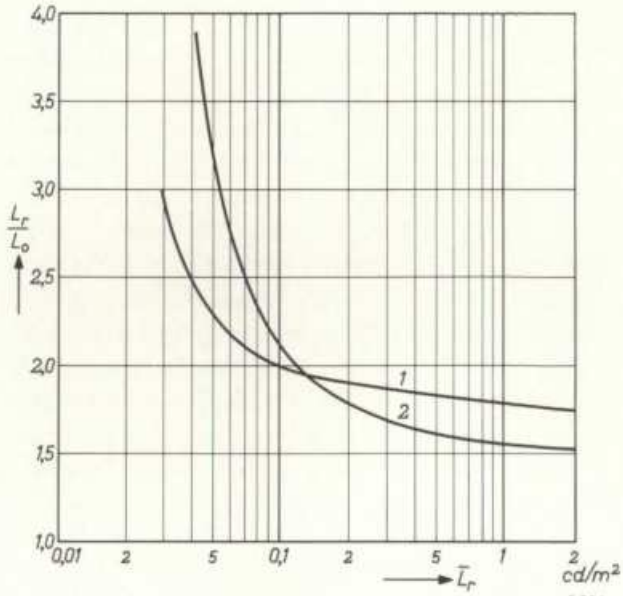


Fig. 4. Waarnemingsmogelijkheid van op de weg geplaatste objecten als functie van de gemiddelde wegdekluminantie $\bar{L}_r$. Verticaal is uitgezet de verhouding L_r/L_o van de luminantie L_r van het stuk wegdek waartegen het object wordt gezien en van de luminantie L_o van het object. Kromme *1* (eigen metingen) heeft betrekking op objecten van 28 bij 28 cm (fig. 3), opgesteld op afstanden tussen 50 en 200 m van een aantal op een vaste plaats opgestelde proefpersonen. De objecten verschenen op plaatsen en tijdstippen die aan de proefpersonen van te voren niet bekend waren. Kromme *2* (Dunbar [4])) betreft waarnemingen uit een rijdende auto.

Dat deze twee aspecten van het zien en waarnemen tot dezelfde richtlijn zouden voeren, was van te voren natuurlijk niet te voorzien, en bij de twee punten die nu ter sprake komen, nl. verblinding en gelijkmatigheid van de wegdekluminantie, is het ook geenszins het geval.

De verblinding

De lichtbronnen van een verlichtingsinstallatie kunnen een zekere verblinding teweegbrengen. (Verblinding door tegenliggers blijft hier buiten beschouwing.) Door het onderzoek van de laatste jaren is komen vast te staan dat het aspect van de achteruitgang van de waarnemingsmogelijkheid (Engels: disability glare) hier van veel minder belang is dan het aspect van het verminderen van het visuele comfort (Engels: discomfort glare). Uit waarnemingen is namelijk gebleken dat zolang de verblinding nog niet hinderlijk is, d.w.z. nog acceptabel wordt geacht wat betreft het visuele comfort, er van enige achteruitgang van de waarnemingsmogelijkheid nog nauwelijks sprake is [6]). Voor het opstellen van een richtlijn aangaande de toelaatbare verblinding is derhalve het visuele comfort bepalend.

[6]) J. B. de Boer, Blendung beim nächtlichen Strassenverkehr, Zentralblatt Verkehrs-Medizin, Verkehrs-Psych. angr. Geb. **3**, 185-203, 1957.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

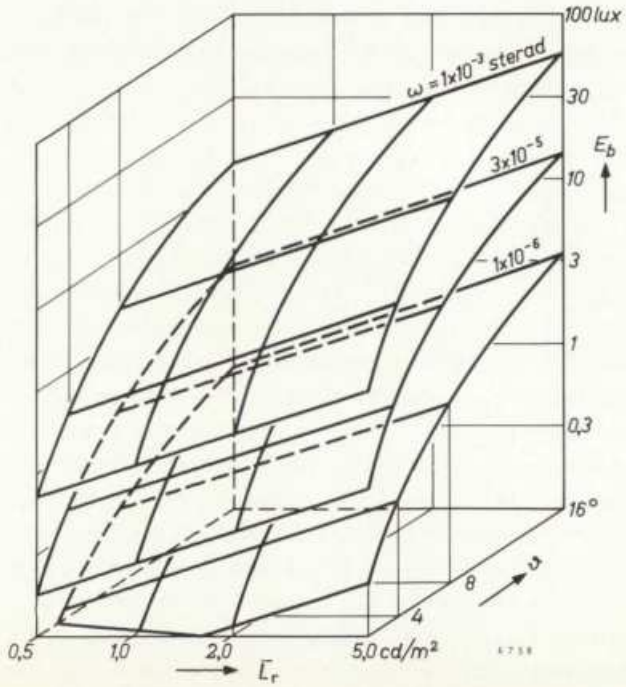
www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Als maat voor de door een lichtbron veroorzaakte verblinding kan de oogverlichtingssterkte E worden gekozen, d.i. de verlichtingssterkte die deze lichtbron op het oog van de proefpersoon teweegbrengt. Dit is een voor de hand liggende fotometrische grootheid die men voor dit doel kan kiezen. Of een bepaalde verblinding als hinderlijk wordt gevoeld, hangt af van de verdere omstandigheden. Bij waarnemen op een verkeersweg zijn de belangrijkste hiervan: de gemiddelde wegdekluminantie $\bar{L}_r$, de hoek ϑ die de lijn van het oog naar de lichtbron maakt met het horizontale vlak, en de ruimtehoek ω waaronder de proefpersoon de lichtbron ziet (schets bij *fig. 5*). Dat juist de hoek ϑ belangrijk is, komt doordat in het wegverkeer een automobilist de oogassen gewoonlijk nagenoeg horizontaal houdt, terwijl hij zijn blik voortdurend van de ene naar de andere kant van de weg laat gaan. De grootste waarde E_b die de oogverlichtingssterkte E door een enkele lichtbron mag hebben opdat het visuele comfort nog bevredigend wordt geacht, is dus een functie van $\bar{L}_r$, ϑ en ω. In fig. 5, die het gemiddelde resultaat is van zeer veel waarnemingen door een groot aantal proefpersonen, is E_b uitgezet als functie van $\bar{L}_r$ en ϑ voor drie waarden van ω. Men ziet dat als E groter is dan E_b, er drie middelen zijn om dit te corrigeren: men kan $\bar{L}_r$, ϑ of ω vergroten. Het laatste kan b.v. gebeuren door de lantaarns te wijzigen.

Het blijkt dat men de resultaten van fig. 5 kan weergeven door de formule [6]):

$$E_b = 7{,}5\ \bar{L}_r^{2/3}\ \vartheta^{4/3}\ \omega^{2/5},$$

waarin E_b in lux, $\bar{L}_r$ in cd/m², ϑ in graden en ω in steradialen is uitgedrukt.



In de praktijk heeft men steeds te maken met verblinding door meer dan één lichtbron tegelijk. Uit waarnemingen is gebleken dat men in dit geval op de volgende manier door berekening kan controleren of het visuele comfort nog bevredigend zal zijn. Voor iedere lichtbron afzonderlijk bepaalt men het quotiënt van de werkelijke oogverlichtingssterkte en de met bovenstaande formule berekende maximaal toelaatbare waarde. Als de som dezer quotiënten over alle lichtbronnen kleiner is dan 1, zal, wat de verblinding betreft, het visuele comfort bevredigend zijn. Zijn er K lichtbronnen, dan luidt deze voorwaarde in formule:

$$\sum_{k=1}^{K} E_k/E_{bk} \leqq 1.$$

Hierin zijn E_k en E_{bk} resp. de werkelijke en de maximaal toelaatbare oogverlichtingssterkte veroorzaakt door de k-de lichtbron. De richtlijn is dus dat aan deze voorwaarde voldaan moet zijn, wáár zich de waarnemer ook op de weg mag bevinden. Het blijkt dat in de praktijk ruimschoots aan de voorwaarde is voldaan indien lantaarns worden gebruikt waarbij de lichtuitstraling in richtingen onder hoeken groter dan 80° met de verticaal naar beneden beperkt is tot enkele tientallen cd per duizend lm, en waarbij tevens de richting waarin de lichtsterkte maximaal is, een hoek van niet meer dan 70 à 75° met deze verticaal maakt.

De gelijkmatigheid van de wegdekluminantie (vlekkerigheid)

Het is onvermijdelijk dat het wegdek een zekere afwisseling van donkere en lichte vlekken vertoont. Er bestaat hier een soortgelijke situatie als bij de

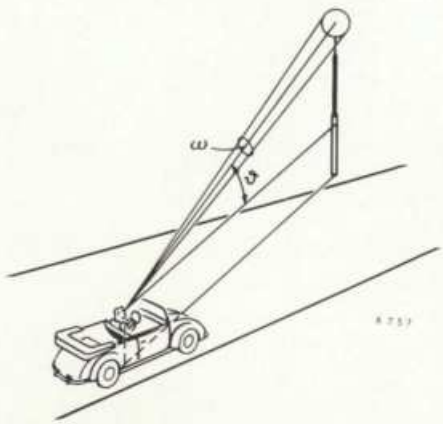


Fig. 5. De door een enkele lichtbron op het oog van een proefpersoon veroorzaakte oogverlichtingssterkte E_b die correspondeert met een „bevredigend" visueel comfort, als functie van de gemiddelde wegdekluminantie $\bar{L}_r$ en de hoek ϑ, voor drie waarden van de ruimtehoek ω (zie de schets).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

verblinding: vlekkerigheid heeft een ongunstige invloed op de waarnemingsmogelijkheid, maar nog voordat deze invloed meetbaar is, is de vlekkerigheid reeds onaanvaardbaar wat betreft het visuele comfort. Er is nog niet veel onderzoek aangaande dit punt gedaan. De door de Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde uitgegeven „Aanbevelingen voor Openbare Verlichting" bevatten de richtlijn dat de wegdekluminantie in de dwarsrichting van de weg niet meer dan een factor drie mag variëren, terwijl bovendien de minimumwaarde niet kleiner mag zijn dan een derde van de gemiddelde waarde [7]). Men dient deze richtlijn te beschouwen als een voorlopige, die althans enige zekerheid verschaft wat betreft de waarnemingsmogelijkheid en dus de verkeersveiligheid. Wat het visuele comfort aangaat, zal een weg die de in deze richtlijn als maximum genoemde ongelijkmatigheid van de wegdekluminantie vertoont, niet aanvaardbaar zijn.

Het grote verschil tussen de reflexie-eigenschappen van een wegdek in droge en in natte toestand levert een bijzondere moeilijkheid. Bij een nat wegdek is het moeilijk zelfs aan de matige eisen van de voorlopige richtlijn te voldoen.

De verschillende soorten lichtbronnen

De genoemde, voor wegverlichting gebruikelijke lichtbronsoorten, nl. gloeilampen, natriumlampen, hogedrukkwiklampen en fluorescentielampen, omvatten samen meer dan 50 lamptypen. (Sporadisch gebruikte typen zijn dan nog buiten beschouwing gelaten, en tussen gloeilampen voor verschillende netspanningen maar voor hetzelfde vermogen is geen onderscheid gemaakt.)

Tabel I geeft een indruk van de relatieve omvang waarin de vier soorten lichtbronnen toepassing vinden. Het is vrij moeilijk hierover exacte cijfers te verkrijgen. De gegevens waarop de tabel gebaseerd is, zijn verstrekt door functionarissen die in een aantal landstreken of grote steden voor de openbare verlichting verantwoordelijk zijn. Het is frappant dat de gloeilampen nog steeds zo belangrijk zijn. Dit geldt vooral wat de aantallen en het vermogen betreft, maar ook als men let op de lichtstroom, die een betere vergelijkingsmaatstaf oplevert.

Tabel 1. Gegevens over de toepassing van gloeilampen (G), natriumlampen (S), hogedrukkwiklampen (M) en fluorescentielampen (F) in enige landen.

		Nederland	West-Duitsland	Frankrijk	Groot-Brittannië
Aantal (%)	G	57	24	77	65
	S	5	1	1	17
	M	9	21	15	15,5
	F	29	54	7	2,5
Lichtstroom (%)	G	51	16	48	41
	S	17	2,5	3,5	37
	M	20	29	40	20
	F	12	52,5	8,5	2
Vermogen (%)	G	78	38	73,5	63,5
	S	5	1,5	1,5	18
	M	10	27,5	21,5	17
	F	7	33	3,5	1,5

De invloed van de lichtsoort

Een opmerkelijk verschil tussen de onderscheiden lichtbronsoorten is de spectrale samenstelling van het licht dat zij leveren, wat o.a. in de kleur en in de kleurweergave tot uiting komt. Wat de hogedrukkwiklampen betreft, moet men nog lampen met fluorescerende ballon (zg. HPL-lampen) en lampen met heldere ballon (zg. HP-lampen) onderscheiden. Laatstgenoemde lampen worden in Europa (behalve in Groot-Brittanië) vrijwel niet voor wegverlichting gebruikt. Onzes inziens is dit terecht. De kleurweergave van HP-lampen is namelijk slecht. Dit is ook de reden waarom de HPL-lampen zijn ontwikkeld: door het licht dat de fluorescerende ballon aan het oorspronkelijke kwiklicht toevoegt, wordt de kleurweergave aanzienlijk verbeterd. Natriumlampen bezitten eveneens het nadeel van een slechte kleurweergave, maar hier staan aanzienlijke voordelen tegenover, wat bij HP-lampen niet het geval is. We komen hier later op terug. Bij ons eigen onderzoek hebben we ons, wat de hogedrukkwiklampen aangaat, tot de HPL-lampen beperkt.

Van de fluorescentielampen hebben we een voor openbare verlichting geschikt type op het oog, dat in het vakjargon met „wit" wordt aangeduid. Bij dit type is in de eerste plaats op een grote specifieke lichtstroom gelet, en pas in de tweede plaats op een ideale kleurweergave. Bij ons eigen onderzoek heeft overigens het accent op natrium- en HPL-lampen gelegen, daar deze voor de verlichting van verkeerswegen het belangrijkst zijn. Het is van belang na te gaan in hoeverre de lichtsoort invloed heeft op de eisen die men, zowel wat waarnemingsmogelijkheid als wat visueel comfort betreft, moet stellen aan de gemiddelde wegdekluminantie, de verblinding en de gelijkmatigheid van de wegdekluminantie. We baseren onze beschouwingen hieromtrent gedeeltelijk op proeven verricht in laboratoria binnenshuis onder omstandigheden die sterk afwijken van de praktijk. Voor vergelijkingsdoeleinden hebben zulke proeven niettemin veel waarde, en ze hebben het grote voordeel dat men ze niet 's nachts hoeft uit te voeren en dat men niet afhankelijk is van de

[7]) Aanbevelingen voor Openbare Verlichting, in 1959 uitgegeven door de Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde te Arnhem.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

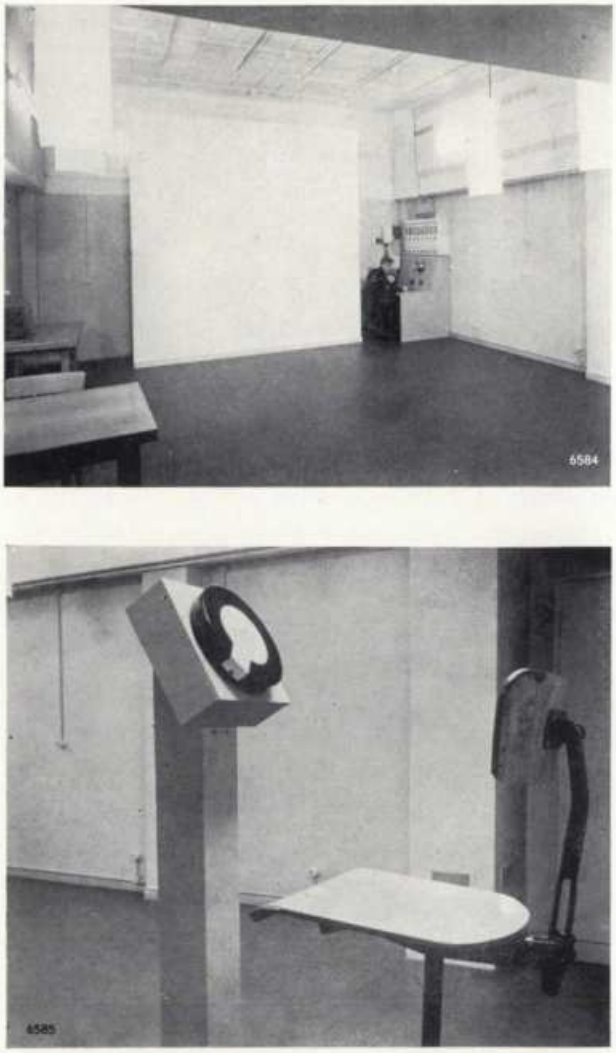


Fig. 6. Twee foto's van de opstelling voor de vergelijking van het waarnemingsvermogen bij verschillende lichtsoorten. De foto boven toont het egaal verlichte scherm, in het midden waarvan gedurende 0,1 s het waar te nemen object, een verwisselbare landoltring, verscheen. Er zijn ringen van verschillende grootte en met verschillende reflexiecoëfficiënten gebruikt. De proefpersoon had een landoltring voor zich (foto onder), waarvan hij de positie in overeenstemming moest brengen met die welke hij op het scherm waarnam of meende waar te nemen.

weersomstandigheden. Ook kan men er gemakkelijker veel proefpersonen bij betrekken.

Lichtsoort en gemiddelde wegdekluminantie

Wat betreft de waarnemingsmogelijkheid in verband met de gemiddelde wegdekluminantie, is reeds vele malen geconstateerd dat natriumlicht superieur is aan gloeilampenlicht [8])[9]). Ook het licht van hogedrukkwiklampen met heldere ballon is reeds vele jaren geleden vergeleken met natriumlicht. Zo constateerden Bouma [10]) en Arndt [8]) bij HP-licht een nog iets grotere gezichtsscherpte dan bij natriumlicht. Weigel [11]) daarentegen vond nauwelijks verschil tussen deze lichtsoorten. Een dergelijk onderzoek bestaat gewoonlijk uit proeven waarbij een object donker afsteekt tegen een egaal verlichte achtergrond. In Philips' Lichttechnisch Laboratorium is een uitvoerig vergelijkend onderzoek gedaan voor natrium- en HPL-licht. *Fig. 6* geeft een indruk van de gebruikte opstelling. Een verwisselbare landoltring — een gebruikelijk object voor visuele proeven — diende als object. Of de ring wel of niet correct wordt waargenomen, hangt van vier grootheden af, nl:

1) de luminantie L_a van de achtergrond,
2) het contrast $C = (L_a - L_o)/L_a$, waarin L_o de luminantie van het object voorstelt,
3) de grootte van de ring,
4) de voor de waarneming beschikbare tijd t (expositietijd).

Voor de twee genoemde lichtsoorten zijn met een groep van 20 proefpersonen, bij één waarde van de expositietijd (0,1 s), drempelwaardemetingen gedaan. De resultaten zijn in *fig. 7* grafisch weergegeven in een driedimensionele grafiek, waarin als coördinaten

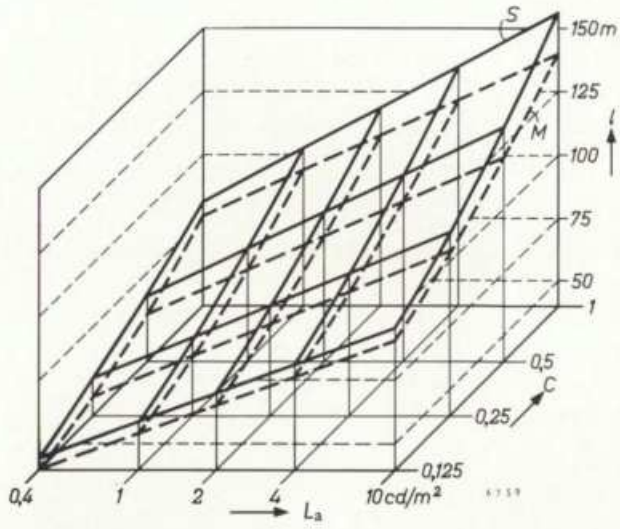


Fig. 7. Afstand l waarop een landoltring van 160 mm diameter nog juist correct wordt waargenomen, als functie van de achtergrondluminantie L_a en van het contrast $C = (L_a - L_o)/L_a$ (L_o = luminantie van de ring), bij een expositietijd van 0,1 s, voor natriumlicht (S) en HPL-licht (M). De afstand l is berekend uit waarnemingen in de opstelling volgens fig. 6, waar de afstand tussen proefpersoon en object 6 m bedroeg.

[8]) W. Arndt, Über das Sehen bei Natriumdampf- und Glühlampenlicht, Das Licht **3**, 213-215, 1933.
[9]) M. Luckiesh en F. Moss, Seeing in tungsten, mercury and sodium light, Trans. Illum. Engng. Soc. (Amerika) **1**, 655-674, 1936.
[10]) P. J. Bouma, Gezichtsscherptemetingen bij diverse lichtsoorten, Ingenieur **49**, A 243-A 246, 1934.
[11]) R. G. Weigel, Untersuchungen über Sehfähigkeit im Natrium- und Quecksilberlicht, insbesondere bei der Strassenbeleuchtung, Das Licht **5**, 211-216, 1935.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

zijn uitgezet: L_a, C (beide logaritmisch) en de afstand l (lineair) waarop een landoltring van 160 mm diameter onder dezelfde hoek zou worden gezien als de werkelijke ring. (Deze laatste bevond zich op 6 m afstand van de proefpersoon.) Voor een bepaalde lichtsoort en een vaste expositietijd t liggen de drempelsituaties op een bepaald vlak: dit scheidt dus het gebied der situaties waarin de (gemiddelde) proefpersoon het object correct waarneemt als dit gedurende t seconden wordt getoond (het gebied beneden het betrokken drempelvlak), van het gebied waarin dit niet het geval is [12]). Uit de grafiek blijkt dat natriumlicht gunstiger is dan HPL-licht. Analyse van de in de grafiek verwerkte waarnemingen toont dat, om bij gegeven contrast dezelfde drempelwaarde van l te vinden (deze drempelwaarde is een maat voor de gezichtsscherpte), de achtergrondluminantie L_a voor HPL-licht gemiddeld 54% (standaardafwijking 12%) hoger moet zijn dan voor natriumlicht.

De reciproke waarde van de drempelwaarde van C noemt men de contrastgevoeligheid. Naarmate l afneemt, d.w.z. naarmate het object groter wordt (alle details in evenredigheid groter), naderen de drempelvlakken voor de verschillende lichtsoorten tot elkaar. Voor grote objecten is er dus noch wat gezichtsscherpte, noch wat contrastgevoeligheid aangaat, verschil tussen de onderscheiden lichtsoorten. In de literatuur zijn vele metingen van de contrastgevoeligheid beschreven waarbij nauwelijks invloed van de lichtsoort werd geconstateerd. Dergelijke metingen hebben altijd betrekking op grote objecten.

Onze uitkomst dat natriumlicht gunstiger is voor de waarnemingsmogelijkheid dan HPL-licht, is in goede overeenstemming met de recente resultaten verkregen door Jainsky [13]), eveneens met landoltringen, maar bij één waarde van het contrast ($C = 0{,}96$). In *fig. 8* — een doorsnede van fig. 7 loodrecht op de C-as ter plaatse $C = 0{,}96$ — zijn, behalve onze eigen resultaten, ook uit waarnemingen van Jainsky afgeleide lijnen getekend voor natrium-, HPL-, fluorescentie- en gloeilamplicht. Dat de van Jainsky afkomstige lijnen niet zouden samenvallen met de onze, was te verwachten, daar het een andere groep waarnemers betrof. Het verschil tussen natrium- en HPL-licht treedt echter bij Jainsky eveneens op. Uit zijn resultaten volgt dat bij HPL-, fluorescentie- en gloeilamplicht de achtergrondluminantie resp. 35, 65 en 100% groter moet zijn dan bij natriumlicht om dezelfde gezichtsscherpte te krijgen.

Ook op de weg hebben wij natrium- en HPL-licht vergeleken wat betreft de waarnemingsmogelijkheid. Bij deze proeven zijn landoltringen van 160 mm diameter gebruikt, die op de weg werden opgesteld. We bepaalden de afstand waarop de ringen nog correct konden worden waargenomen. De moeilijkheid dat deze afstand afhangt van de plaats op de

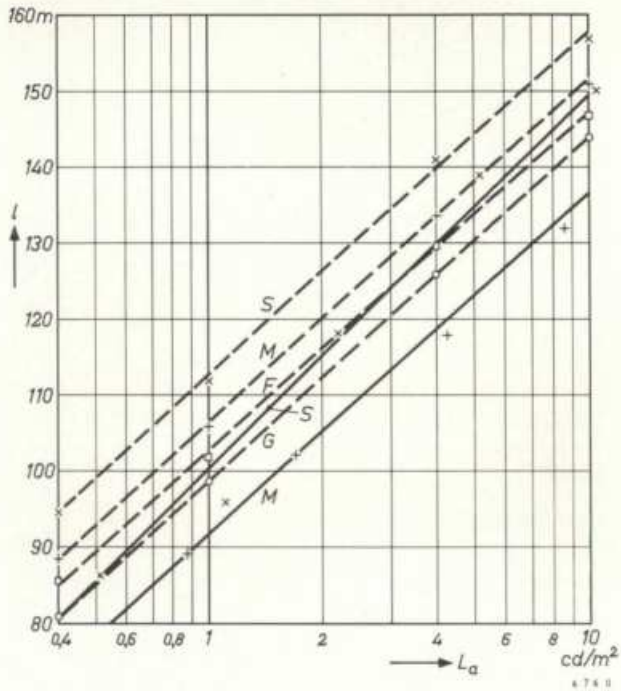


Fig. 8. Doorsnede loodrecht op de C-as van fig. 7, ter plaatse $C = 0{,}96$. De vlakken S en M uit fig. 7 leveren in deze doorsnede de getrokken lijnen S en M. Ter vergelijking zijn als streeplijnen resultaten uitgezet van Jainsky [13]), die bij die waarde van het contrast (nl. $C = 0{,}96$) gloeilamplicht (G), natriumlicht (S), HPL-licht (M) en fluorescentielicht (F) vergeleek. De afkortingen G, S, M en F worden in de volgende figuren steeds in dezelfde betekenis gebruikt.

weg doordat de wegdekluminantie niet gelijkmatig is, hebben we overwonnen door een groot aantal ringen systematisch over de weg te verdelen (*fig. 9*). De proeven zijn zowel op gewone wegen uitgevoerd als in ons openluchtlaboratorium voor wegverlichting [14]), dat te Turnhout is gevestigd (hier is de foto fig. 9 gemaakt). Het openluchtlaboratorium bestaat uit een weg met verrijdbare masten, waaraan de lantaarns in hoogte verstelbaar, en gemakkelijk verwisselbaar zijn bevestigd. De resultaten van de

[12]) Voor een andere waarde van de expositietijd vindt men andere vlakken. De beschreven opstelling is ontwikkeld door Balder en Fortuin voor hun onderzoek naar de invloed van de expositietijd op de waarnemingsmogelijkheid bij gloeilamplicht; zie J. J. Balder en G. J. Fortuin, Compte rendu Comm. Intern. de l'Eclairage, Zürich 1955, I.

[13]) P. Jainsky, Die Sehschärfe des menschlichen Auges bei verschiedenen Lichtarten, Lichttechnik **12**, 402-405, 1960.

[14]) J. Hamming en J. F. T. van Heemskerck Veeckens, Een openluchtlaboratorium voor wegverlichting, Philips techn. T. **19**, 199-202, 1957.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Fig. 9. Overzicht van Philips' openluchtlaboratorium voor wegverlichting te Turnhout [14]), met systematisch verdeeld opgestelde landoltringen, voor het onderzoek naar de invloed van de lichtsoort op de waarnemingsmogelijkheid.

proeven op gewone wegen vertoonden, zoals te verwachten, een veel grotere spreiding dan die in het openluchtlaboratorium, waar men de omstandigheden veel beter in de hand heeft. In beide gevallen kwamen de resultaten echter overeen met die van de proeven binnenshuis; slechts waren de verschillen nog meer geprononceerd [15]).

Zoals op blz. 244 is gezegd, hangt de mogelijkheid tot waarneming van een object ook af van de expositietijd. Bij een bepaalde combinatie van detailgrootte, contrast en luminantie van de achtergrond behoort dus een drempelwaarde van de expositietijd. De reciproke waarde van deze tijd noemt men de waarnemingssnelheid. In *fig. 10* is deze waarnemingssnelheid, voor bepaalde waarden van objectgrootte en contrast, uitgezet als functie van de luminantie van het object voor natrium- en gloeilamplicht [16]). *Fig. 11* geeft de waarnemingssnelheid voor bewegende objecten volgens Weigel [11]) voor natrium-, gloeilamp- en HP-licht. Ook Arndt [8]), en Luckiesh en Moss [9]) hebben de waarnemingssnelheid bij verschillende lichtsoorten gemeten. Zij constateerden dat de waarden van de achtergrond-luminantie die bij de verschillende lichtsoorten nodig zijn om tot dezelfde waarnemingssnelheid te geraken, zich ongeveer verhouden als de waarden die nodig zijn voor het bereiken van dezelfde gezichtsscherpte.

Om ook wat betreft visueel comfort een indruk te krijgen van de invloed van de lichtsoort op de wen-

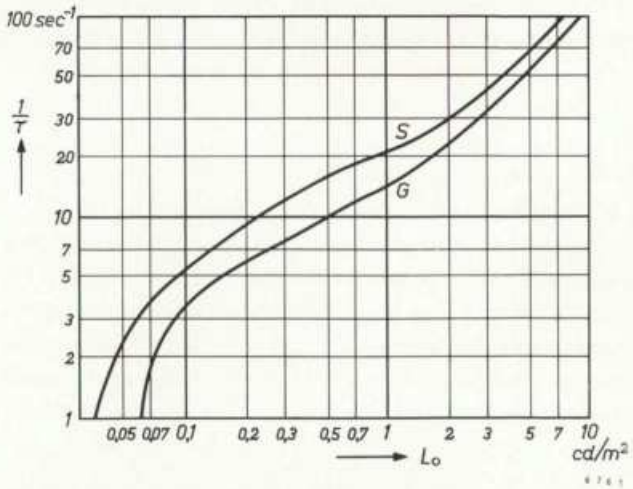


Fig. 10. De waarnemingssnelheid $1/\tau$ (τ = expositietijd) voor een stilstaand object, bij een vaste waarde van het contrast, als functie van de luminantie L_o van het object, voor gloeilamplicht en natriumlicht, volgens metingen van Bouma [16]).

[15]) J. B. de Boer, The application of sodium lamps to public lighting, Illum. Engng. **56**, 293-301, 1961 (no. 4).

[16]) P. J. Bouma, Het waarnemen op de weg bij lage helderheden, Philips techn. T. **9**, 150-158, 1947.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

selijke wegdekluminantie, zijn de in fig. 2 verzamelde resultaten gesplitst naar de verschillende lichtsoorten. De grote spreiding maakt een zinvolle vergelijking moeilijk. Tracht men voor de verschillende lichtsoorten het verband tussen de gemiddelde wegdekluminantie en de subjectieve waardering hiervan zo goed mogelijk met rechte lijnen te benaderen, dan vindt men lijnen met verschillende helling. Een statistische analyse heeft echter uitgemaakt dat deze

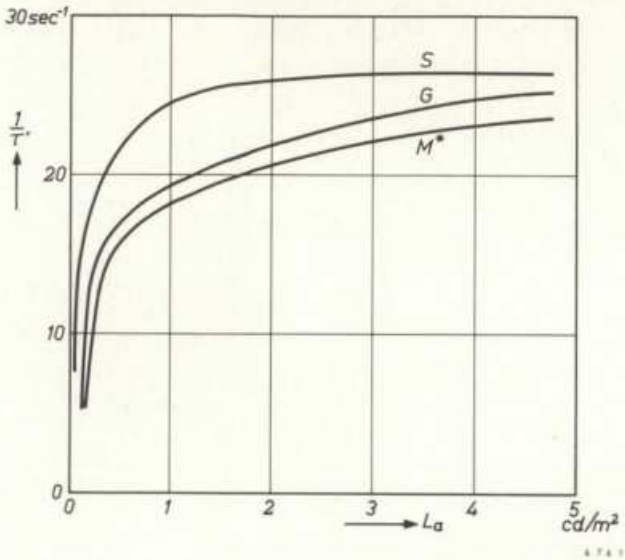


Fig. 11. De waarnemingssnelheid $1/\tau'$(τ' = expositietijd) voor een bewegend object, bij een vaste waarde van het contrast, als functie van de achtergrondluminantie L_a, voor gloeilamplicht, natriumlicht en HP-licht (M*) volgens metingen van Weigel [11]).

verschillen in helling niet significant zijn. We zijn daarom als volgt te werk gegaan. Eerst is in *fig. 12* — die dezelfde punten bevat als fig. 2 — de rechte lijn getrokken die het genoemde verband zo goed mogelijk benadert als men afziet van de lichtsoort. Vervolgens zijn evenwijdig hiermee lijnen getrokken door de vier zwaartepunten van de puntenzwermen voor de afzonderlijke lichtsoorten. Indien men de resultaten aldus interpreteert, blijkt dat om een zelfde gemiddelde subjectieve waardering van de wegdekluminantie te verkrijgen als bij natriumlicht, de gemiddelde wegdekluminantie moet worden verhoogd met 34% voor HPL-licht, met 50% voor gloeilamplicht en met 125% voor fluorescentielicht. Anders gezegd: bij gelijke wegdekluminantie geeft natriumlicht een indruk van grotere helderheid. De standaardafwijking van de genoemde percentages is resp. 21, 28 en 45%.

Wat de hoge waarde van 125% voor fluorescentielicht betreft, zij vermeld dat deze waarschijnlijk ten dele moet worden toegeschreven aan de gebruikte lantaarns. Deze schermden namelijk niet af, zodat zij een vrij sterke verblinding veroorzaakten. Voor de drie andere lichtsoorten waren de lantaarns alle van een afschermend type. Het resultaat van deze vergelijking van natrium- met HPL-licht wat betreft de waardering van de wegdekluminantie toont dezelfde tendentie als door Stevens en Ferguson [17]) is gevonden bij de vergelijking van natrium- met HP-licht in een gebied van luminanties dat voor wegdekken gebruikelijk is.

Lichtsoort en verblinding

Wat verblinding betreft, zeiden we reeds dat de hinderlijkheid (het visuele comfort dus), en niet de waarnemingsmogelijkheid, bepaalt wat toelaatbaar is. Om de verblindingshinder voor de verschillende lichtsoorten (gloeilamplicht, natriumlicht, HPL-licht en fluorescentielicht) te vergelijken, hebben wij o.a. gebruik gemaakt van een in het laboratorium binnenshuis gesimuleerde straatverlichtingsinstallatie [18]). Hierin konden de lichtsoort, de helderheid van de lichtbronnen en de gemiddelde wegdekluminantie afzonderlijk worden gevarieerd. Alle

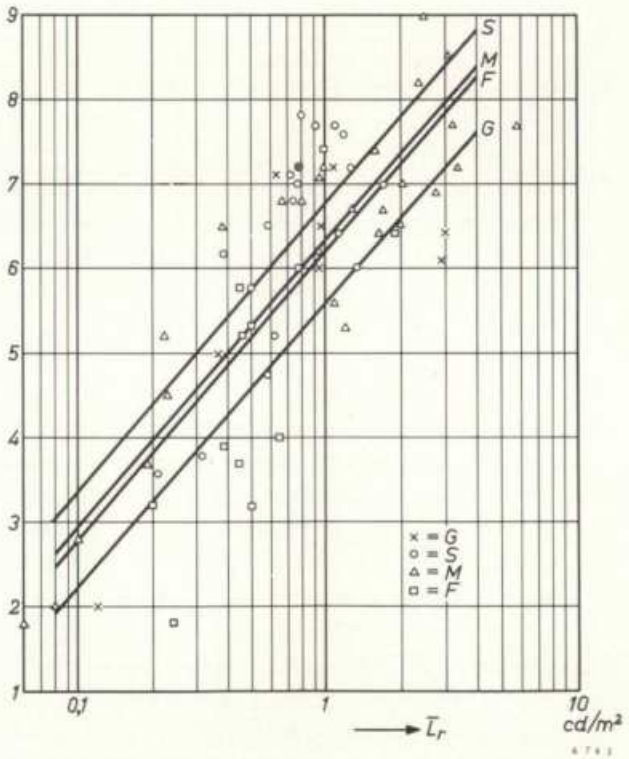


Fig. 12. Splitsing van de gemiddelde waarderingen van het lichtniveau in 70 straten door 16 deskundigen (vgl. fig. 2) naar de vier lichtsoorten. F en G zijn abusievelijk verwisseld.

[17]) H. M. Ferguson en W. R. Stevens, Relative brightness of coloured light sources, Trans. Illum. Engn. Soc. (Londen) **21**, 227-247, 1956.

[18]) Voor een beschrijving van deze opstelling zij verwezen naar: J. B. de Boer en J. F. T. van Heemskerck Veeckens, Observations on discomfort glare in street lighting. Influence of the colour of the light, Compte rendu Comm. intern. de l'éclairage, Zürich 1955.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

andere factoren die de mate van hinderlijkheid zouden kunnen beïnvloeden, zoals grootte en plaats van de lichtbronnen, helderheidsverdeling op lichtbronnen en wegdek, bleven daarbij ongewijzigd.

Fig. 13 toont voor de vier lichtsoorten de luminantie van de lichtbronnen die, volgens het gemiddelde oordeel van zes proefpersonen, nog juist toelaatbaar is, als functie van de gemiddelde weg-

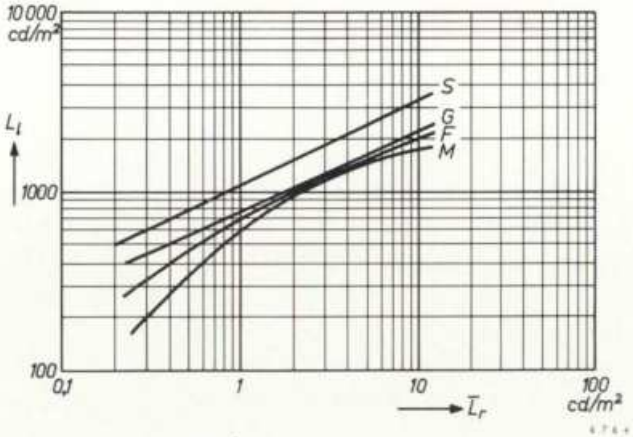


Fig. 13. Juist toelaatbare luminantie L_l van de lantaarns voor de vier lichtsoorten in een bepaalde straatverlichtingsinstallatie als functie van de gemiddelde wegdekluminantie $\bar{L}_r$ volgens de gemiddelde beoordeling van een groep van zes proefpersonen.

dekluminantie $\bar{L}_r$. Er blijkt uit, dat, in het onderzochte interval van $\bar{L}_r$ (0,1 tot 10 cd/m²), bij natriumlicht het visuele comfort nog bevredigend wordt geacht bij een aanzienlijk grotere lichtbronluminantie dan bij de drie andere lichtsoorten.

Bij één waarde van $\bar{L}_r$ (1 cd/m²) zijn natrium-, HPL- en fluorescentielicht nog eens vergeleken door een grotere groep proefpersonen (50 personen). Dit leverde als resultaat dat de luminantie van de lichtbronnen voor een zelfde mate van verblindingshinder bij natriumlicht 30% groter mag zijn dan bij fluorescentielicht en 45% groter dan bij HPL-licht, in overeenstemming dus met fig. 13. Dat bij natriumlicht een grotere lichtbronhelderheid toelaatbaar is dan bij kwiklicht, is ook geconstateerd door Ferguson, Reeves en Stevens bij hun vergelijking van natrium- met HP-licht [17])[19]).

Wij hebben deze conclusies ook getoetst aan de resultaten van de beoordeling van de verblindingshinder in de 70 eerder genoemde straten door 16 ervaren waarnemers (blz. 240). Splitst men deze beoordelingen naar de lichtsoort, dan blijkt ook hier dat bij natriumlicht belangrijk grotere lichtbronhelderheden kunnen worden toegestaan dan bij andere lichtsoorten.

De invloed van de lichtkleur op de mate waarin verblinding de waarnemingsmogelijkheid benadeelt, is van minder belang, omdat immers de verblindingshinder de toelaatbare verblinding bepaalt. Voor de volledigheid vermelden we dat enige invloed van de lichtkleur in dit verband nauwelijks geconstateerd kan worden.

Een punt van belang is nog de invloed van de lichtkleur op de hersteltijd na verblinding. Wij hebben gevonden dat, onder overigens identieke omstandigheden, deze hersteltijd bij natriumlicht slechts $^3/_4$ bedraagt van die bij HPL-licht en $^2/_3$ van die bij gloeilamplicht [20]).

Lichtsoort en vlekkerigheid

Wat de vlekkerigheid (ongelijkmatigheid van de wegdekluminantie) betreft, is, evenals bij de verblinding, het visuele comfort doorslaggevend. Het onderzoek op dit gebied is nog in het beginstadium: de volgende vergelijkende proeven met natrium- en HPL-licht, uitgevoerd in het openluchtlaboratorium, vertegenwoordigen een eerste poging om het probleem van de ongelijkmatigheid op kwantitatieve basis te stellen.

De gemiddelde waarde $\bar{L}_r$ van de wegdekluminantie en de vlekkerigheid werden systematisch gevarieerd. Aan een groep van 25 proefpersonen werd gevraagd het visuele comfort wat betreft de vlekkerigheid te beoordelen met een der kwalificaties: slecht, onvoldoende, matig, goed of uitstekend. Om te kunnen middelen, zijn aan deze kwalificaties resp. de cijfers 1, 3, 5, 7 en 9 toegekend. De vlekkerigheid — waarvoor de verhouding R van de maximum- en de minimumwaarde van de wegdekluminantie als maat is genomen — werd gevarieerd door de ophanghoogte van de lantaarns te wijzigen. Voor de twee lichtsoorten zijn lantaarns gebruikt met dezelfde lichtverdeling. Daardoor is de luminantieverdeling op het wegdek voor de twee lichtsoorten identiek bij een zelfde waarde van R. *Fig. 14* toont het gemiddelde oordeel der proefpersonen als functie van $\bar{L}_r$ voor de twee lichtsoorten en voor enige waarden van R. De volgende twee conclusies lijken gerechtvaardigd:

1) Naarmate de gemiddelde wegdekluminantie groter is, zijn sterkere plaatselijke variaties in deze luminantie aanvaardbaar.

[19]) H. M. Ferguson, J. Reeves en W. R. Stevens, A note on the relative discomfort glare from mercury, sodium and tungsten light sources, G.E.C. Journal **20**, 184-187, 1953.

[20]) J. B. de Boer, La couleur de la lumière dans l'éclairage pour la circulation routière, Lux, 1959, blz. 20-25 (no. 1), en blz. 46-50 (no. 2).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

2) Bij natriumlicht kunnen, bij overigens identieke omstandigheden, sterkere plaatselijke variaties in de wegdekluminantie worden toegestaan dan bij HPL-licht.

Naar hun algemene tendentie zijn deze conclusies bevestigd door latere proeven. Verder onderzoek is nodig alvorens men kwantitatieve uitspraken zal kunnen doen.

Samenvattend kunnen we zeggen dat het onderzoek naar de invloed van de lichtsoort de volgende markante voordelen van natriumlicht boven de andere behandelde lichtsoorten aantoont:

1) Een grotere gezichtsscherpte. Bij toepassing van een andere lichtsoort moet de gemiddelde wegdekluminantie ongeveer 1,5 maal zo groot zijn om dezelfde gezichtsscherpte op te leveren. (Dit geldt niet bij vergelijking met HP-licht; zie blz. 244.)
2) Bij gelijke wegdekluminantie geeft natriumlicht een indruk van grotere helderheid. Wat dat betreft, is natriumlicht ruim 30% beter dan HPL-licht, dat de tweede plaats inneemt.
3) Een grotere waarnemingssnelheid. De gegevens die hierover tot nu toe ter beschikking staan, doen vermoeden dat, in dit opzicht, voor de verschillende lichtsoorten ongeveer dezelfde verhoudingen gelden als wat de gezichtsscherpte betreft.
4) Een geringere verblindingshinder. Hierdoor mag de luminantie van de lichtbronnen zelf ca. 1,4 maal zo groot zijn als bij andere lichtsoorten onder overigens gelijke omstandigheden.
5) Vlekkerigheid is bij natriumlicht minder storend.

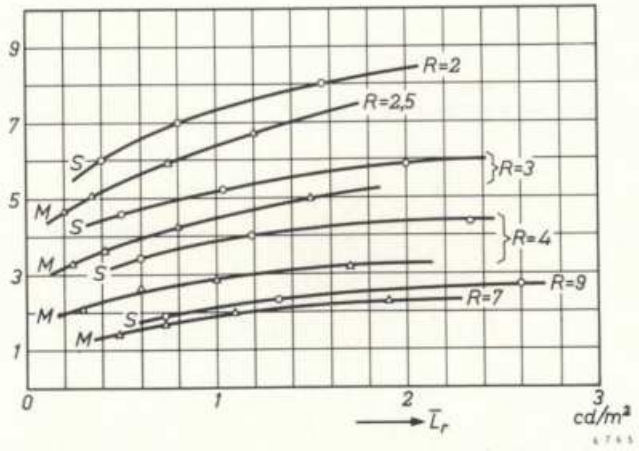


Fig. 14. Waardering van de gelijkmatigheid van het wegdek bij proeven in het openluchtlaboratorium als functie van de gemiddelde wegdekluminantie $\bar{L}_r$, voor enige waarden van de verhouding R tussen maximum- en minimumwaarde van de wegdekluminantie. Met de waarderingscijfers 1, 3, 5, 7 en 9 corresponderen weer de kwalificaties slecht, onvoldoende, matig, goed en uitstekend.

Uit deze opsomming volgt dat men voor een verlichtingsinstallatie van een bepaalde kwaliteit, bij gebruik van natriumlicht kan volstaan met ongeveer 75% van de lichtstroom die bij gebruik van andere lichtsoorten nodig is. Dit, gecombineerd met de zeer grote specifieke lichtstroom van natriumlampen, maakt natriumverlichting in economisch opzicht zeer aantrekkelijk.

Praktische waarde van een grote gezichtsscherpte

Het wordt soms betwijfeld of een grotere gezichtsscherpte bij een bepaalde lichtsoort een voordeel is bij de toepassing voor wegverlichting. De gezichtsscherpte, zo redeneert men, is van geringe betekenis, omdat in de praktijk de waarneming berust op het zien van helderheidscontrasten van betrekkelijk grote voorwerpen. Het zou dus de contrastgevoeligheid bij grote objecten zijn die de zichtbaarheid op de weg bepaalt, en zoals gezegd (blz. 245), is deze contrastgevoeligheid weinig afhankelijk van de lichtsoort.

Deze mening is begrijpelijk als men uitgaat van de omstandigheden die zich een twintigtal jaren geleden voordeden, toen niveaus van enige tienden cd/m², zelfs voor belangrijke verkeerswegen, gebruikelijk waren. Bij dergelijke niveaus berust de waarneming er inderdaad op dat betrekkelijk grote voorwerpen als donkere silhouetten tegen het wegdek worden gezien. Details van dit voorwerp zijn dan niet waarneembaar. Bij het tegenwoordige intensieve wegverkeer is dit een beslist onvoldoende waarnemingsmogelijkheid. Juist het waarnemen van details leidt tot onmiddellijke herkenning en tot de beslissing of het object verdere aandacht nodig heeft. Van belang is b.v. dat een automobilist, evenals bij daglicht, aan de houding van een voetganger die zich op de berm van de weg bevindt, kan zien of deze hem heeft opgemerkt. Is dit het geval, dan behoeft de automobilist aan deze voetganger geen bijzondere aandacht meer te schenken. Iedere winst in gezichtsscherpte betekent daardoor een vergroting van de verkeersveiligheid.

Betekenis van afmetingen, vorm en luminantie der lichtbronnen

De eis van een grote en gelijkmatige wegdekluminantie leidt tot bepaalde wensen betreffende de lichtverdeling van een straatlantaarn. In een verticaal vlak evenwijdig met de as van de weg verlangt men gewoonlijk een lichtverdeling van het type dat in *fig. 15* is geschetst. De grote spreiding in dit vlak, dus de spreiding in de lengterichting van de weg, is nodig om een grote afstand tussen twee opeenvolgende lichtbronnen te overbruggen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Ook in de dwarsrichting van de weg is een zekere spreiding nodig, om de breedte van de weg en de bermen te bestrijken. Bij te grote dwarsspreiding (te geringe bundeling) gaat echter licht voor de weg verloren. In hoeverre men aan de gestelde eisen met redelijke optische middelen kan voldoen, hangt af van afmetingen, vorm en luminantie van de lichtbronnen. Wat dit betreft, vertonen de vier

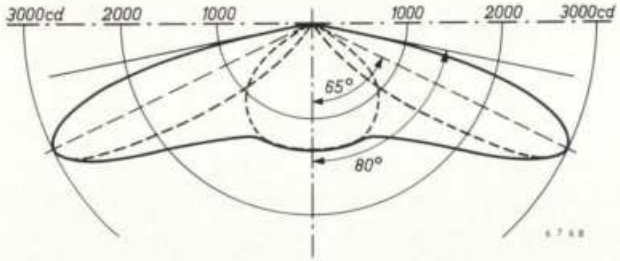


Fig. 15. Voorbeeld van een lichtverdeling zoals deze in het verticale vlak evenwijdig met de as van de weg voor een straatlantaarn verlangd wordt. Men kan zo'n verdeling b.v. verkrijgen met behulp van twee spiegels, die elk één der gestippeld getekende smalle lichtbundels leveren. Samen met de rest van het licht, o.a. het directe licht van de lamp — de derde gestippelde kromme — verschaffen zij de gewenste verdeling. De ingeschreven lichtsterkten in candela's zijn normaal voor een lantaarn die lampen bevat die in totaal ca. 10 000 lm leveren.

lichtbronsoorten die in dit artikel worden behandeld, grote verschillen. *Tabel II* geeft een overzicht van de genoemde grootheden voor enige lamptypen van elke lichtbronsoort. Vergelijken we in deze tabel lampen van ongeveer dezelfde lichtstroom, dan valt op dat gloeilampen het meest geconcentreerd zijn (grootste luminantie, dus kleinste afmetingen van het stralend deel), terwijl fluorescentielampen met hun geringe luminantie en grote lengte het andere uiterste vertegenwoordigen. HPL- en natriumlampen hebben vrijwel gelijke luminantie, maar verschillen vrij sterk van vorm.

Om de betekenis van afmetingen, vorm en luminantie met een voorbeeld toe te lichten, nemen we aan dat de opgave gesteld is, voor elk der vier lichtbronsoorten een systeem van spiegels te ontwerpen waarmee een lichtverdeling in lengterichting volgens fig. 15 wordt verkregen. De in fig. 15 voorgeschreven waarden van de lichtsterkten zijn normaal voor een lantaarn die een lichtbron van ca. 10 000 lm bevat. De waarde van 10 000 lm is gekozen omdat men deze met alle vier lichtbronsoorten ongeveer kan realiseren, zodat men vergelijkbare lantaarns krijgt. Omdat de grootste fluorescentielamp die voor wegverlichting in Europa thans gebruikt wordt, slechts ca. 5500 lm levert, moet men voor deze lichtbronsoort twee lampen gebruiken. *Fig. 16* bevat schetsjes van vier ontwerpen die aan de eis voldoen. Eenvoudigheidshalve zijn de spiegels symmetrisch gedacht ten opzichte van het verticale vlak evenwijdig met de as van de weg, het vlak dus waarin de lichtverdeling is voorgeschreven. Uit een globale bespreking van de wijze waarop deze ontwerpen tot stand zijn gekomen, zal de invloed van vorm en afmetingen van de lichtbron duidelijk blijken.

Men kan de gewenste lichtverdeling in lengterichting verkrijgen met behulp van twee spiegels die elk

Tabel II. Lichtstroom, luminantie en afmetingen van het stralende deel van enige lamptypen behorende tot de vier vergeleken lichtbronsoorten. Tevens is de depreciatie (gemiddelde lichtstroom over de gehele levensduur gedeeld door de lichtstroom na 100 uur) opgegeven. De opgegeven afmetingen van het stralende deel hebben de volgende betekenis. Voor de gloeilampen: lengte, breedte en hoogte van een denkbeeldig rechthoekig parallellopipedum dat de gloeispiraal omsluit; voor de natriumlampen: de beenlengte en de diameter van de vrijwel tegenelkaar aan liggende benen van de U-vormige ontladingsbuis: voor de HPL-lampen: de lengte en de diameter van het eivormige fluorescerende gedeelte van de ballon; voor de „TL" lampen: de lengte en de diameter van het fluorescerende gedeelte van de buis.

Lichtbronsoort	Type-aanduiding	Nominaal vermogen watt	Lichtstroom op de helft van de levensduur lm	Luminantie op de helft van de levensduur cd/cm²	Afmetingen stralend deel cm	Depreciatie
Gloeilamp (220 V)	GLS helder	100	1330	600	2,5 1 0,07	0,96
		500	9000	800	3,5 2,5 0,09	0,95
		1500	27600	1000	4 2 2,5	0,92
Natriumlamp	SOI	45	3100	10	14 1,2	0,94
		60	4700	10	20 1,2	0,94
		85	7500	10	30 1,3	0,94
		140	12000	12	40 1,6	0,94
		200	20200	14	66 1,6	0,94
Hogedrukkwiklamp met fluorescerende ballon	HPL	80	2700	10	11 7	0,90
		125	4850	10	12 7,5	0,90
		250	10500	15	15 9	0,90
		400	18000	15	19 12	0,90
		700	33000	15	23 14	0,87
		1000	45200	15	26 16,5	0,87
Fluorescentielamp	„TL" 33	20	1080	0,60	57 3,8	0,87
		40	2430	0,65	117 3,8	0,87
		65	4400	0,8	148 3,8	0,80
		125	5500	1,1	148 3,5	0,80

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

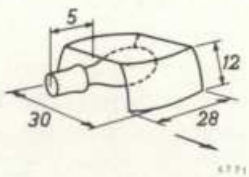
een smalle lichtbundel onder een grote hoek met de verticaal leveren. Samen met het rechtstreekse en het tegen de bovenkant van de lantaarn teruggekaatste licht leveren de twee bundels ongeveer de gewenste verdeling (zie de gestippelde krommen in fig. 15). In de dwarsrichting van de weg moet de bundeling minder sterk zijn. Algemeen geldt dat men, om in een vlak een zekere bundeling te verkrijgen, tot een spiegel komt die groter is naarmate de afmetingen van de lichtbron in dit vlak groter zijn. Omdat in het verticale vlak evenwijdig met de as van de weg de sterkste bundeling wordt verlangd, worden de lampen zo opgesteld dat hun kleinste afmetingen in dit vlak vallen. Voor de HPL-lamp is deze kleinste afmeting toch nog 9 cm. Van de vier lampen stelt de HPL-lamp dan ook de zwaarste opgave wat betreft de bundeling in het verticale vlak evenwijdig met de as van de weg. Het blijkt echter dat men met een eenvoudige spiegel (deel van een omwentelingsparaboloïde) van de in fig. 16 vermelde afmetingen aan de eis kan voldoen. Doordat in deze opstelling de grootste afmeting (15 cm) bepalend is voor de bundeling in dwarsrichting, is de dwarsspreiding hier automatisch groter; deze blijkt een acceptabele waarde te krijgen.

Vervolgens is voor de gloeilamp de spiegel zodanig ontworpen dat deze zowel in de lengte- als in de dwarsrichting van de weg dezelfde lichtverdeling oplevert als de HPL-lamp. Doordat de lichtbron (gloeidraad) hier zoveel kleiner is, heeft men de lichtverdeling goed in de hand. De geringe afmetingen van de lichtbron zijn echter geenszins alleen van voordeel. Om zowel in lengte- als in dwarsrichting de verlangde bundeling te krijgen, moet men namelijk de spiegel (fig. 16) in twee onderling loodrechte richtingen verschillende kromtestralen geven. Bovendien worden hoge eisen gesteld aan het spiegelend oppervlak: bij een geconcentreerde lichtbron tekenen afwijkingen in de spiegel zich namelijk af als vlekken op de weg. Men zal in zo'n geval meestal zijn toevlucht nemen tot andere optische middelen, b.v. tot een eenvoudige spiegel, die de goede bundeling in lengterichting oplevert, gecombineerd met een geribde afsluitschaal van doorzichtig materiaal, die voor de verlangde dwarsspreiding zorgt en die bovendien onregelmatigheden uitsmeert. Een geconcentreerde lichtbron leidt aldus tot een lantaarn die weliswaar meestal klein kan blijven, maar die vrij gecompliceerd is.

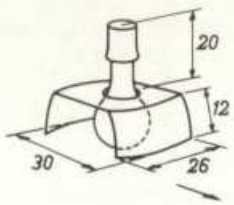
Wat de fluorescentielampen aangaat, deze leveren geen moeilijkheden wat betreft de bundeling in lengterichting, maar ze zijn zo lang dat aan enige bundeling in dwarsrichting niet te denken valt.

Bij de natriumlampen is de lichtverdeling in lengterichting evenmin een probleem. In dwarsrichting is een zekere bundeling mogelijk doordat men de afstand tussen lamp en spiegel een waarde kan geven die nog enigszins vergelijkbaar is met de lengte van de lamp. Natrium- en HPL-lampen zijn ongeveer gelijkwaardig wat de beheersingsmogelijkheid van de lichtverdeling betreft: bij natriumlampen is de lichtverdeling in dwarsrichting minder gemakkelijk te beïnvloeden, terwijl het bij HPL-lampen wat moeilijker is de lichtverdeling in lengterichting volledig naar wens te vormen.

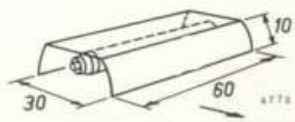
Het is geenszins regel dat

M 

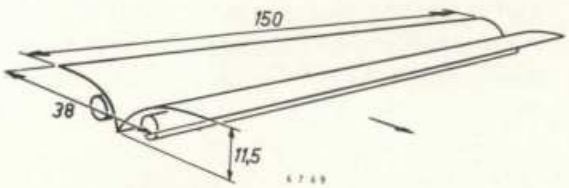
HPL 250 W; 10 500 lm; 15 cd/cm²; hoofdafmetingen 22 en 9 cm; eivormig stralend deel van 15 bij 9 cm.

G 

Gloeilamp met heldere ballon 500 W; 9000 lm; 1000 cd/cm², hoofdafmetingen 28 en 13 cm; gloeispiraal van 1 mm dik, gebogen tot een niet geheel gesloten cirkel van 3,5 cm diameter.

S 

SO 140 W; 12 000 lm; 12 cd/cm²; hoofdafmetingen 52 en 6 cm; stralend deel is een U-buis, vrijwel zonder ruimte tussen de benen, lengte der benen 40 cm, diameter 1,6 cm.

F 

„TL" 125 W; 2 × 5500 lm; 1,1 cd/cm²; hoofdafmetingen 151 en 3,5 cm; cilindrisch stralend deel, lengte 148 cm, diameter 3,5 cm.

Fig. 16. Ontwerpschetsjes, voor elk der vier lichtbronsoorten, van spiegels — en hun posities ten opzichte van de lampen — waarmee in het verticale vlak evenwijdig met de as van de weg de in fig. 15 geschetste lichtverdeling zo goed mogelijk benaderd wordt. De platte oppervlakken boven de lampen zijn diffuus reflecterend. Bij de schetsjes zijn de belangrijkste gegevens der toegepaste lampen vermeld; de opgegeven lichtstromen en luminanties gelden op de helft van de levensduur. De pijlen stellen de richting van de as van de weg voor.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

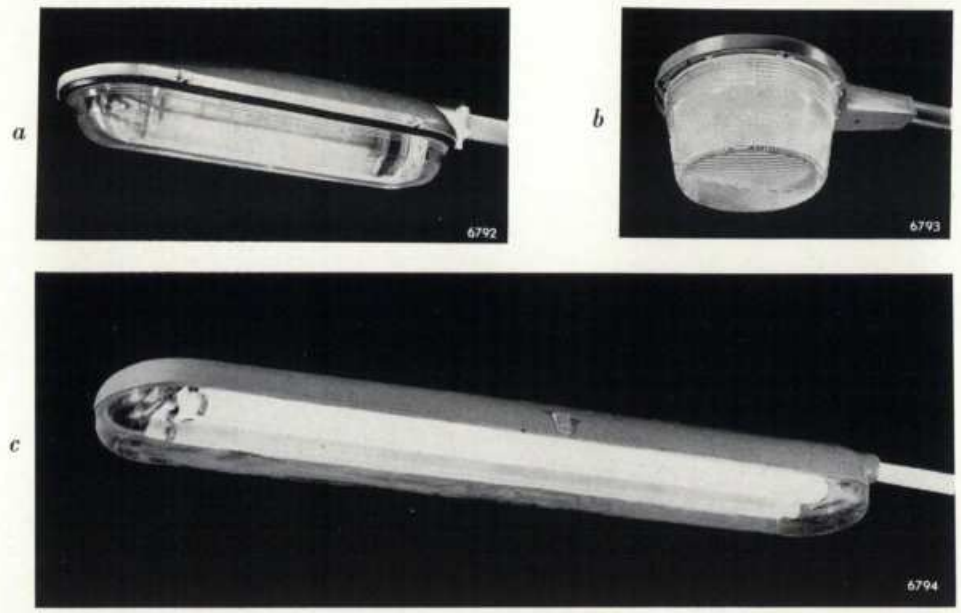


Fig. 17. Drie voorbeelden van moderne gesloten straatlantaarns; *a*) voor een natriumlamp van 200 watt (20 200 lm); *b*) voor een HPL-lamp van 400 watt (18 000 lm); *c*) voor twee „TL" lampen van 125 watt (2 × 5500 lm). De lantaarns zijn op dezelfde schaal afgebeeld; de grootste lengte van de lantaarn voor de „TL" lampen bedraagt 1,8 m.

straatlantaarns met spiegels zijn uitgerust. *Fig. 17* bevat een drietal voorbeelden waarbij dit niet het geval is. Opvallend is dat de lantaarn voor de fluorescentielampen verreweg de grootste van de drie is, terwijl hij het minste licht geeft. Deze lantaarn bevat bovendien geen voorzieningen om het licht te bundelen, een taak die bij de beide andere lantaarns wordt vervuld door de prismatische ribbels in de afsluittroggen van doorzichtig materiaal. Wil men ook bij de lantaarn voor de fluorescentielampen effectief bundelen, dan moet men deze aanzienlijk breder, en dus nog groter maken. Dit wijst erop dat fluorescentielampen eigenlijk minder geschikt zijn voor de verlichting van verkeerswegen. Met HPL- of natriumlampen zijn beter hanteerbare en esthetisch beter aanvaardbare oplossingen mogelijk.

Wij willen, in dit verband, ook enige opmerkingen maken over de HP-lampen, dus de hogedrukkwiklampen met heldere ballon. Deze lampen hebben een zeer geconcentreerd stralend deel en verkeren daardoor wat betreft de beheersingsmogelijkheid van de lichtverdeling in dezelfde positie als de gloeilampen. Er is dus een ver gaande beheersing mogelijk met lantaarns van bescheiden afmetingen, zij het ook dat de lantaarns gewoonlijk vrij gecompliceerd zijn. Beter dan met HPL- of natriumlampen kan men er zeer breed stralende lantaarns voor maken, d.w.z. met een lichtverdeling waarbij de maximale lichtsterkte vrijwel horizontaal wordt uitgestraald (vgl. fig. 15), wat het voordeel biedt dat men de mastafstand groot kan maken. In landen waar men dergelijke lichtverdelingen nog steeds op prijs stelt, vinden HP-lampen dan ook nog vrij veel toepassing. Behalve het groeiend inzicht dat zeer breed stralende lantaarns uit een oogpunt van verblindingshinder ongewenst zijn, is er nog een andere reden waarom de HP-lampen meer en meer het veld ruimen voor natrium- en HPL-lampen. De ontwikkeling gaat in de richting van ruwe wegdekken, en daardoor meer diffuse reflexie. Men wil namelijk het droge en het natte wegdek minder van aanzien doen verschillen, en tevens het wegdek zo stroef mogelijk maken ten einde het slipgevaar te beperken. Bij deze meer diffuus reflecterende wegdekken hebben zeer breed stralende lantaarns weinig zin, daar dan het licht dat onder zeer kleine hoeken met de horizontaal wordt uitgestraald zeer weinig bijdraagt tot de luminantie van de weg. Als echter het voordeel van de zeer breed stralende lantaarns vervalt, verdient voor verkeerswegen waar de kleurweergave van ondergeschikt belang is, natriumlicht de voorkeur. Het HP-licht is namelijk met natriumlicht — waarmee het de slechte kleurweergave gemeen heeft — alleen wat gezichtsscherpte betreft vergelijkbaar. In andere opzichten (verblinding, nodige wegdekluminantie, waarnemingssnelheid) is het de mindere van natriumlicht. In gevallen waarbij aan de kleurweergave wèl waarde moet worden gehecht, zoals in belangrijke verkeersaders in de bebouwde kom of in winkelcentra en op representatieve pleinen, verdient HPL-licht verre de voorkeur.

Temperatuur- en spanningsvariaties

Meet men in een gesloten vertrek voor de vier lichtbronsoorten de lichtstroom als functie van de temperatuur in dit vertrek (gemeten ver van de lamp), dan vindt men globaal de in *fig. 18* getekende

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

krommen. Bij fluorescentielampen is er een zodanige afhankelijkheid dat men bij het ontwerp van de lantaarn rekening moet houden met warmteverliezen. Men zal de lantaarn zo moeten construeren dat in het meest voorkomende gebied van nachtelijke temperaturen (voor onze breedtegraad tussen 0 en 10 °C) de lichtstroom optimaal is. Onder andere omstandigheden, b.v. in koude winternachten, kan dan echter de lichtstroom aanzienlijk geringer zijn. Dit is een nadeel van fluorescentielampen ten opzichte van de drie andere lichtbronsoorten.

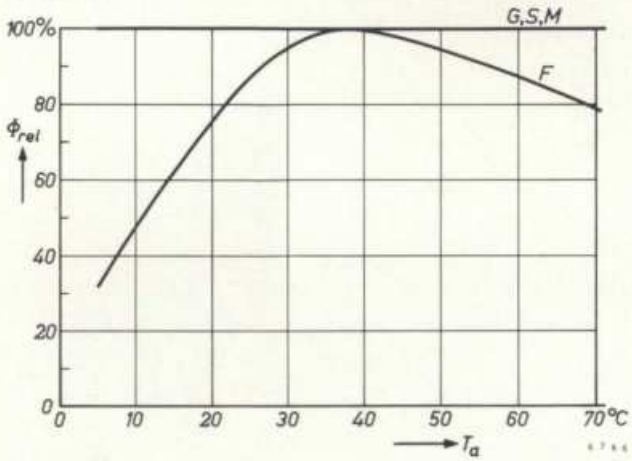


Fig. 18. Relatieve lichtstroom Φ_{rel} als functie van de omgevingstemperatuur T_a, voor de vier lichtsoorten.

Voorts hangt bij alle vier lichtbronsoorten de lichtstroom af van de spanning (*fig. 19*). Natriumlampen zijn wat dit betreft het gunstigst. Dit is zeer welkom, omdat deze lampen vooral in aanmerking komen voor verkeerswegen buiten de bebouwde kom, wat meebrengt dat ze vaak zijn aangesloten op een uitloper van het lichtnet, waar zich uiteraard de grootste spanningsschommelingen voordoen. De geringe gevoeligheid van natriumlampen voor spanningsschommelingen maakt bovendien dat men bij de dimensionering van de kabels, die o.a. gebaseerd moet zijn op een maximaal toelaatbaar verschil in de lichtstroom van de op één kabel aangesloten lichtpunten, tot geringere koperdoorsneden en daardoor tot goedkopere kabels kan komen.

Uit het voorgaande blijkt dat voor de verlichting van verkeerswegen, in alle gevallen waar men over het bezwaar van een slechte kleurweergave heen wil stappen, natriumlampen de voorkeur verdienen boven andere lichtbronnen. Natriumlicht is namelijk gunstiger voor de waarnemingsmogelijkheid en het visuele comfort dan andere lichtsoorten. Bovendien bezitten natriumlampen eigenschappen die ze voor grote verlichtingsinstallaties bijzonder aantrekkelijk maken: een grote specifieke lichtstroom, die economische exploitatie mogelijk maakt. een vorm en afmetingen die gunstig zijn voor het optische ontwerp van straatlantaarns, en een geringe gevoeligheid voor temperatuur- en spanningsvariaties. In gevallen waar de slechte kleurweergave van natriumlampen een overwegend bezwaar is, verdienen hogedrukkwiklampen met fluorescerende ballon (HPL-lampen) de voorkeur boven fluorescentielampen en gloeilampen, voornamelijk omdat zij een veel grotere lichtstroom kunnen leveren, en, vergeleken met fluorescentielampen, tevens omdat vorm en afmetingen gunstiger zijn en de gevoeligheid voor temperatuurvariaties geringer is.

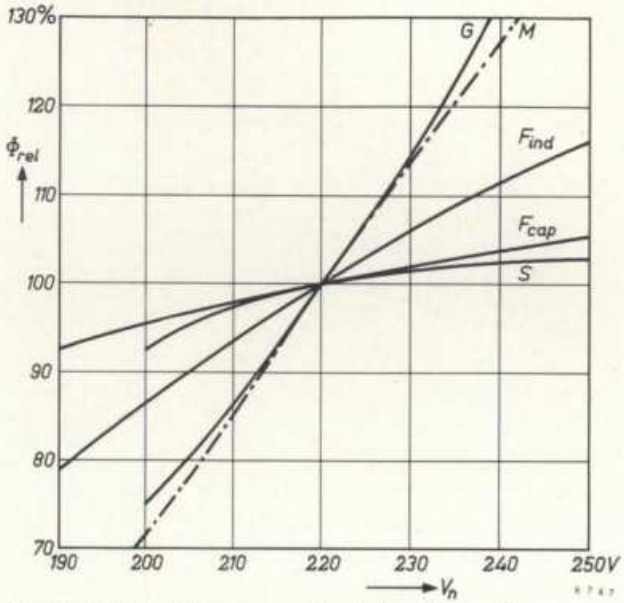


Fig. 19. Relatieve lichtstroom Φ_{rel} als functie van de netspanning V_n, voor de vier lichtsoorten. Bij de fluorescentielampen moet hier onderscheid gemaakt worden tussen de werking met capacitieve en met inductieve voorschakelapparaten (resp. F_{cap} en F_{ind}).

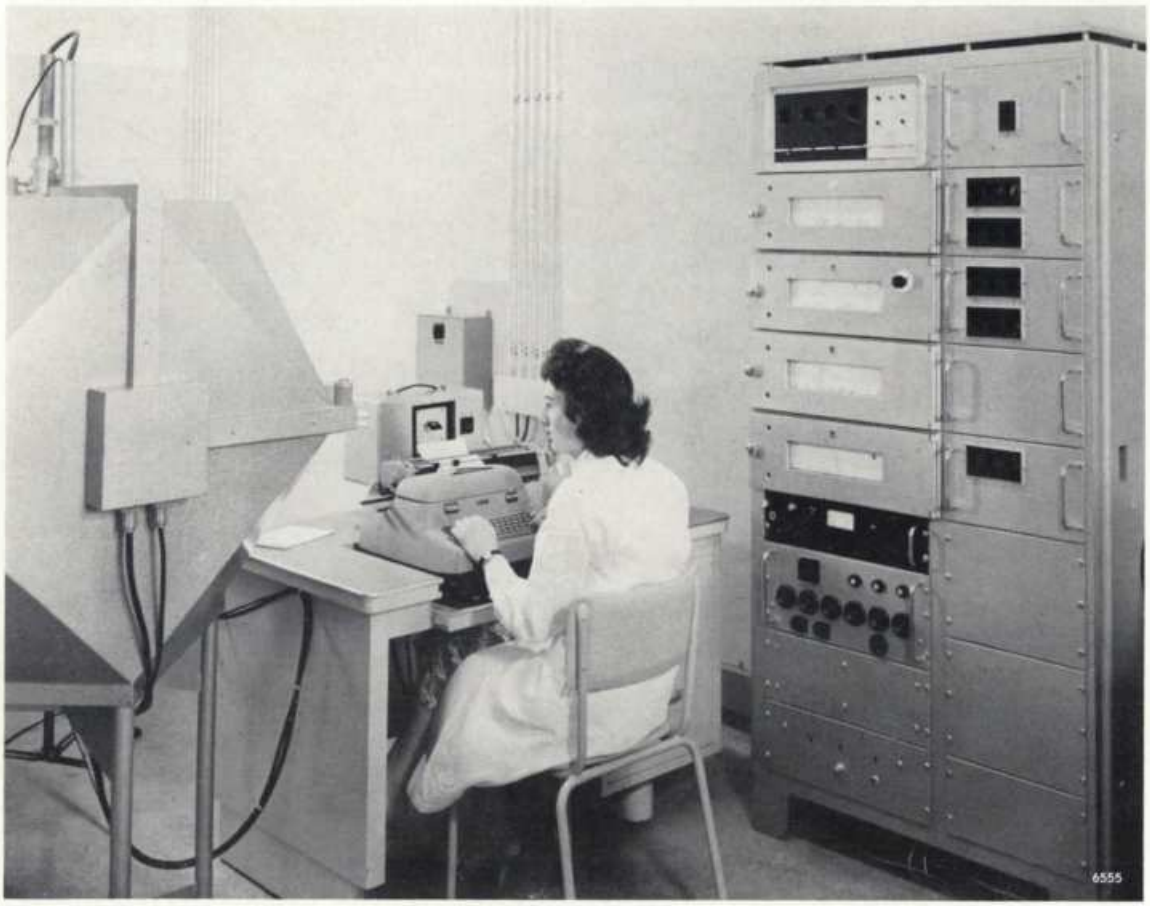
Samenvatting. Wil men een verkeersweg zodanig verlichten dat de deelnemers aan het gemotoriseerde wegverkeer hun eigen lichten niet hoeven te gebruiken, dan moet men een verlichtingsinstallatie aanbrengen die zowel wat waarnemingsmogelijkheid als visueel comfort aangaat aanvaardbare omstandigheden verschaft. In hoeverre de installatie dit doet, wordt bepaald door de gemiddelde wegdekluminantie, de verblinding door de lantaarns der installatie en de ongelijkmatigheid (vlekkerigheid) op de weg. Aan de hand van proeven, gedaan in Philips' Lichttechnisch Laboratorium en elders, wordt betoogd dat 2 cd/m² een redelijke waarde is voor de gemiddelde wegdekluminantie. Wat de toelaatbare verblinding betreft, wordt een bepaalde richtlijn gegeven; wat vlekkerigheid aangaat, is daartoe nog niet voldoende onderzoek gedaan.

Vervolgens worden vier soorten lichtbronnen, nl. gloeilampen, natriumlampen, hogedrukkwiklampen met fluorescerende ballon (HPL-lampen) en fluorescentielampen, op verschillende punten onderling vergeleken, nl. wat betreft de invloed van de lichtsoort op zien en waarnemen, wat betreft de betekenis van afmetingen, vorm en luminantie van de lichtbronnen, en wat betreft de gevoeligheid voor temperatuur- en netspanningsschommelingen. Natriumlampen komen op alle punten gunstig voor de dag. De conclusie is dat voor verkeerswegen waar een slechte kleurweergave geen overwegend bezwaar is, natriumlampen de voorkeur verdienen. Is de kleurweergave belangrijk, dan zijn HPL-lampen aan te bevelen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

AUTOMATISCHE DIGITALE GLOEILAMPENFOTOMETER



In een gloeilampenfabriek moeten geregeld grote aantallen gloeilampen als steekproef gefotometreerd worden. Deze metingen, uitgevoerd op de gebruikelijke wijze, stellen voortdurend hoge eisen aan de oplettendheid van de fotometriste. Na het plaatsen van een lamp in de fotometer moet zij de spanning op de lamp aan de hand van een meteraflezing nauwkeurig op de gewenste waarde instellen (en op die waarde houden). Zij moet dan de lichtstroom en het opgenomen vermogen nauwkeurig op twee meters aflezen, de voor elke lamp afgelezen waarden foutloos in het voor de steekproef opgemaakte meetformulier noteren, deze waarden op elkaar delen om het lichtrendement (lm/W) te bepalen, dit weer delen op het voorgeschreven lichtrendement voor het desbetreffende lamptype, en de beide rekenuitkomsten eveneens noteren.

Door de hier afgebeelde installatie, die in de nieuwe gloeilampenfabriek van Philips in Weert in gebruik is genomen, zijn deze handelingen thans vrijwel geheel geautomatiseerd. De fotometriste behoeft geen enkele meter af te lezen, niets uit te rekenen en vrijwel niets te schrijven. Zij kiest de spanning op een toetsenbord (dit bevindt zich op de foto rechts achter haar op de tafel); er is keuze uit 80 waarden tussen 90 en 287,5 V. Een automatische regeling zorgt ervoor dat de spanning op de lamp binnen 0,1% nauwkeurig overeenstemt met de ingestelde waarde. Op hetzelfde toetsenbord kiest zij het voorgeschreven rendement van het onderzochte lamptype en de juiste, onderling gekoppelde, meetgebieden van de watt- en lumenmeters (zes mogelijkheden). De ingestelde waarden van spanning en voorgeschreven rendement worden automatisch afgedrukt op het meetformulier voor de steekproef, dat de fotometriste in de elektrische schrijfmachine heeft geplaatst en waarop zij, voor zover nodig, enkele gegevens van het onderzochte lamptype heeft getikt. Na het plaatsen van elke lamp in de fotometer (geheel links op de foto) drukt de fotometriste op een knop. De installatie laat de lamp dan gedurende een vooraf ingestelde tijd branden om een stationaire toestand te bereiken, b.v. 10 seconden, voert daarna automatisch de metingen en de genoemde berekeningen uit en tikt deze op het meetformulier. Lampjes op het toetsenbord geven uit-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

sluitsel over de voortgang van de automatische meting, berekening en notering.

Voor de installatie is gebruik gemaakt van in serie vervaardigde industriële apparatuur. De rechts op de foto zichtbare meetkast bevat in de linkerhelft twee automatische meetbruggen voor de lichtstroom en het vermogen, één automatische meetbrug die als analogon-rekenmachine fungeert voor het uitvoeren van de delingen, en — bovenaan — een analoog-digitaal-omzetter, die de continu variabele meet- en rekenuitkomsten vertaalt in de voor het besturen van de elektrische schrijfmachine vereiste, in stappen variërende, signalen. Een vierde automatische meetbrug werkt als servosysteem voor de fijnregeling van de lampspanning (instelling binnen enkele seconden). De lampen moeten ter wille van de gewenste meetnauwkeurigheid met gelijkspanning worden gevoed. Het veld van de hiervoor vereiste gelijkspanningsgenerator (deze is niet op de foto zichtbaar) wordt opgewekt met behulp van een gestabiliseerd voedingsapparaat, dat zich links onder in de meetkast bevindt.

In het rechter gedeelte van de meetkast zijn de programmaschakelaar en de relais voor het automatisch doen aflopen van de meet- en rekencyclus ondergebracht, alsmede alle vereiste schakelaars voor het instellen van de spanning, de meetgebieden enz. Door deze schakelaars in één kast met de bijbehorende meetinstrumenten onder te brengen, werd de bekabeling vereenvoudigd. De schakelaars worden door middel van de knoppen op het toetsenbord op afstand bediend.

Twee maal per dag wordt de gehele apparatuur gecontroleerd door meting van standaardlampen.

GELIJKSTROOM-WISSELSTROOMOMZETTERS MET BESTUURBARE SILICIUMGELIJKRICHTERS VOOR FLUORESCENTIEVERLICHTING

door J. J. WILTING *).

621.314.57 : 621.314.63 : 621.327.53451.

Bijna overal in de verlichtingstechniek doet zich een streven voor naar grotere verlichtingssterkten. De verlichting in vervoermiddelen, zoals treinen en autobussen, vormt daarop geen uitzondering. Als stroombron staat in deze vervoermiddelen gewoonlijk slechts een dynamo (met of zonder bufferbatterij) van beperkte capaciteit ter beschikking. Men is hier dus aangewezen op het gebruik van zeer economische lichtbronnen, met name buisvormige fluorescentielampen, zoals „TL" lampen.

Daar de stroombron gelijkstroom levert, is men tot twee oplossingen gekomen:

1) Het gebruik van speciale fluorescentielampen („TL" C-lampen), die in serie met een voorschakelweerstand direct uit de gelijkstroombron worden gevoed [1]). Deze oplossing is beperkt tot gelijkspanningen van ten minste 72 V.
2) Het gebruik van een gelijkstroom-wisselstroomomzetter, in combinatie met normale fluorescentielampen.

De tweede oplossing heeft ten opzichte van de eerste het voordeel van een aanzienlijk geringer verlies in de voorschakelapparaten. Aanvankelijk gebruikte men vrijwel uitsluitend robuuste mechanische omzetters, o.a. centrifugaalomzetters met draaiende kwikstraal [1]). Thans zijn elektronische omzetters in opkomst, als gevolg van de ontwikkeling van halfgeleiderschakelelementen, zoals de transistor [2]) en de bestuurbare siliciumgelijkrichter.

Het elektrische gedrag van de bestuurbare siliciumgelijkrichter vertoont overeenkomst met dat van thyratrons en ignitrons; men spreekt dan ook wel van „vastestofthyratron" [3]). Boven deze beide elektronische schakel- of commuteerelementen — waaraan we nog de triode kunnen toevoegen — heeft de bestuurbare siliciumgelijkrichter het voordeel van een veel kleiner spanningsverlies (dit be-

*) Hoofdindustriegroep Licht, Eindhoven.

[1]) L. P. M. ten Dam en D. Kolkman, Verlichting in treinen en andere verkeersmiddelen door middel van „TL" lampen, Philips techn. T. **18**, 28-35, 1956.

[2]) Th. Hehenkamp en J. J. Wilting, Gelijkstroom-wisselstroomomzetters met transistors voor het voeden van fluorescentielampen, Philips techn. T. **20**, 347-351, 1958.

[3]) F. W. Gutzwiller, Phase-controlling kilowatts with silicon semiconductors, Control Engng. **6**, 113-119, 1959. O. W. Memelink, De werking en eigenschappen van het vastestofthyratron, T. Ned. Radiogenootschap **26**, 119-126, 1961 (no. 3). — Wat de naam betreft: deze gelijkrichter is in de handel onder namen zoals SCR (silicon controlled rectifier), „Thyristor" en „Trinistor". De I.E.C. heeft onlangs als algemene benaming pylistor aanbevolen (Interlaken, juni 1961). Deze naam is afgeleid van $\pi\upsilon\lambda\eta$ = poort, dus ongeveer synoniem met $\theta\upsilon\rho\alpha$ = deur, waaruit thyratron en „Thyristor" zijn gevormd.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

draagt slechts 1 tot 1,5 V), dus van een hoger rendement. De bestuurbare siliciumgelijkrichter is bijzonder compact en robuust, en behoeft geen verwarming van de katode. De commutatiesnelheid is weliswaar kleiner dan die van een triode, maar groter dan die van een thyratron en een ignitron. De toelaatbare maximumspanning is bij de huidige bestuurbare siliciumgelijkrichters lager dan bij thyratrons en ignitrons, maar veel hoger dan bij transistors. Thans zijn bestuurbare siliciumgelijkrichters voor nominaal een topspanning van 400 V en een gemiddelde stroom van 70 A in de handel verkrijgbaar [4]), waarmee omzetters van tientallen kilowatts te construeren zijn. Volgens een opgave in de literatuur [5]) verwacht men, bij verdere ontwikkeling deze waarden te kunnen opvoeren tot 1000 V en 1000 A, waarmee een schakelbaar vermogen van 1 MW per schakelelement zou worden bereikt.

Bestuurbare siliciumgelijkrichters zijn thans nog zeer kostbaar. Desondanks is een ermee uitgeruste omzetter voor een verlichtingsinstallatie uit investeringsoogpunt reeds nu vergelijkbaar met een mechanische omzetter. De verwachting is dat de vergelijking voor de elektronische omzetter in een nabije toekomst belangrijk gunstiger zal worden. Op het ogenblik reeds aanwezige voordelen van deze laatste zijn o.a. dat het rendement aanzienlijk hoger is, dat er geen onderhoud nodig is en dat het gewicht en het volume kleiner zijn.

Voordelen van het voeden van fluorescentielampen uit een omzetter

Als men gelijkstroom omzet in wisselstroom, heeft men een grote mate van vrijheid in de keus van spanning en frequentie. In het geval van omzetters voor fluorescentieverlichting is er reden om niet de spanning en de frequentie van de gewone wisselstroomnetten te kiezen, want deze hebben geen van beide een waarde die voor het voeden van fluorescentielampen optimaal is. Zo is de spanning van 220 V niet toereikend om lange fluorescentielampen (typen voor 40 W en meer) betrouwbaar te doen ontsteken zonder dat daartoe bepaalde maatregelen zijn genomen, en bij de gebruikelijke lage frequenties van 50 en 60 Hz werken de lampen lang niet onder de gunstigste condities. Beide punten zullen we in het kort toelichten.

Bij de meeste fluorescentielampen maakt men gebruik van een voorschakelapparaat met een starter, dat (meestal kortstondig) een hoge spanning levert, waarop de lamp ontsteekt. Bovendien worden de elektrodes van de lamp vooraf verwarmd, wat de ontsteekspanning verlaagt. Daardoor gaat het ontsteken steeds met enige vertraging gepaard. Bij één type lamp — de „TL" S-lamp [6]) — heeft men door het aanbrengen van een geleidende strip binnen in de lamp de ontsteekspanning zo laag gemaakt dat de genoemde maatregelen overbodig zijn. Deze lamp is uiteraard iets duurder van constructie dan een gewone fluorescentielamp, en door de verliezen in de strip is het rendement wat lager.

Bij gebruik van een omzetter kan men de spanning zo hoog kiezen dat ook de langste lampen betrouwbaar en zonder vertraging ontsteken met een eenvoudig voorschakelapparaat, zonder voorverwarming (de elektrodes moeten dan daarop berekend zijn) en zonder inwendige strip. Met het oog op de veiligheidsvoorschriften kan men de secundaire transformatorspoel van de omzetter in het midden aarden, zodat de wisselstroomleidingen ten opzichte van aarde de halve spanning hebben.

Wat betreft de frequentie, het opvoeren hiervan tot een waarde tussen 5 en 10 kHz biedt bij fluorescentielampen een reeks van voordelen:

1) Gewicht en afmetingen van de voorschakelapparaten, en de verliezen hierin, kunnen bijzonder klein worden. Gering gewicht en geringe warmteontwikkeling zijn soms van doorslaggevende betekenis.
2) Het lichtrendement van fluorescentielampen neemt met stijgende frequentie toe [2])[7]). Een „TL" lamp voor 40 W b.v. heeft bij frequenties tussen 5 en 10 kHz een rendement dat ca. 10% hoger is dan bij 50 Hz.
3) Het licht is rustiger. Stroboscopisch effect is geheel afwezig.
4) De lampen veroorzaken minder radiostoring.

De laatste twee punten zijn een gevolg van het feit dat de gasontlading bij hoge frequenties veel regelmatiger is dan bij de gebruikelijke netfrequenties [8]): de ionenconcentratie blijft nagenoeg constant, het herontstekingsverschijnsel is afwezig. Waarschijnlijk is dit ook gunstig voor de levensduur van de lamp, maar levensduurproeven zouden deze verwachting nog moeten bevestigen. (De genoemde voordelen van hoge frequenties worden niet veel groter meer als men de frequentie nog hoger dan

---

[4]) Zie b.v. Controlled-rectifier manual van de (Amerikaanse) General Electric Co.

[5]) E. J. Duckett, DC to AC power conversion by semiconductor converters, Westinghouse Engr. **20**, 170-174, 1960 (no. 6).

[6]) W. Elenbaas en T. Holmes, Een direct ontstekende fluorescentielamp in serie met een gloeilamp, Philips techn. T. **12**, 133-139, 1950.

[7]) J. H. Campbell, New parameters for high-frequency lighting systems, Illum. Engng. **55**, 247-256, 1960 (no. 5).

[8]) Fluorescent lamps and lighting, redactie van W. Elenbaas, Philips' Technische Bibliotheek 1959, blz. 104.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

10 kHz kiest. Bovendien nemen de verliezen dan aanmerkelijk toe, o.a. verliezen door straling, waardoor het gevaar ontstaat dat men communicatiemiddelen stoort.)

Deze saillante voordelen van hoge frequenties spreken sterk ten gunste van het gebruik van omzetters die wisselstroom van deze frequenties leveren. De transistoromzetter is daartoe in staat [2]), maar doordat zijn vermogen klein is en transistors niet tegen hoge spanningen bestand zijn, is het toepassingsgebied zeer beperkt (verlichting in autobussen e.d.). De omzetter met bestuurbare siliciumgelijkrichters daarentegen, die eveneens tot het opwekken van wisselstroom van frequenties tot 10 kHz in staat is, kan werken op een ingangsgelijkspanning van de orde van 100 V en een vermogen leveren van de orde van 1 tot 10 kW. Daardoor is deze omzetter bij uitstek geschikt voor het voeden van fluorescentielampen in treinen en op schepen.

Ook komt laatstgenoemd soort omzetters in aanmerking voor het voeden van fluorescentielampen in kantoorgebouwen, fabrieken e.d. die daartoe van een speciaal verlichtingsnet zijn voorzien; de omzetters worden dan uit het gewone elektriciteitsnet gevoed via gelijkrichters. De energiebesparing door de kleinere verliezen in de voorschakelapparaten en door het hogere lichtrendement weegt op tegen de verliezen in de gelijkrichters en de omzetters. De nettobesparing alleen reeds zal straks, als de prijzen van de bestuurbare siliciumgelijkrichters gedaald zijn, de investering die voor zo'n installatie nodig is en die nu nog vrij hoog is, rendabel maken. Plannen voor een proefinstallatie te Eindhoven zijn in uitwerking.

Omzetters met bestuurbare siliciumgelijkrichters

In dit artikel zullen we ons beperken tot een beknopte beschrijving van een omzetter die in het Elektrotechnisch Laboratorium van de Hoofdindustriegroep Licht is ontwikkeld, in de eerste plaats voor treinverlichting. Vooraf geven we een korte uiteenzetting van de eigenschappen van de bestuurbare siliciumgelijkrichter [9]) [3]).

De bestuurbare siliciumgelijkrichter

De bestuurbare siliciumgelijkrichter bestaat uit vier lagen silicium, afwisselend van het type *P* en het type *N* (*fig. 1*). Er zijn twee hoofdelektrodes: de anode *a* en de katode *b*, en één stuurelektrode *c*. Mits de spanning tussen *a* en *b* een bepaalde waarde niet overschrijdt, is de gelijkrichter in de rusttoestand niet geleidend (behoudens een lekstroom, ten hoogste van de orde van milliampères); dit geldt voor beide polariteiten van de spanning tussen *a* en *b*. Om de gelijkrichter geleidend te maken — wat zonder schade slechts mogelijk is in de doorlaatrichting (met *a* positief ten opzichte van *b*) —, is een kortstondige stroominjectie in de stuurelektrode voldoende. De stroom in de doorlaatrichting mag zeer groot zijn (tot enige tientallen ampères, afhankelijk van het type [4])). De spanningsval is slechts 1 tot 1,5 V, dus een orde kleiner dan bij gasontladingsbuizen, zoals thyratrons en ignitrons. De niet-geleidende toestand keert pas terug wanneer de hoofdstroom daalt tot beneden een zekere lage grenswaarde, de zg. houdstroom. Beneden deze waarde worden namelijk in de *P-N*-overgangen niet meer voldoende ladingdragers gegenereerd. In niet-geleidende toestand is voor bepaalde typen van bestuurbare siliciumgelijkrichters een topspanning van 400 V (kortstondig 500 V) met beide polariteiten toelaatbaar, in de doorlaatrichting echter niet voordat de uit de stroomdoorgang resterende ladingdragers door recombinatie zo gering in concentratie zijn geworden dat de lekstroom tot beneden de minimumwaarde van de stuurstroom is afgenomen. Evenmin mag in de doorlaatrichting de spanning zo snel aangroeien dat de daardoor veroorzaakte capacitieve stroom in de *P-N*-overgangen de minimumwaarde van de stuurstroom overtreft. De grenswaarde van de verschillende grootheden is afhankelijk van de temperatuur in het inwendige van de gelijkrichter, en van de aard en de dimensionering van de schakeling. Doorslag in de keerrichting ten slotte leidt tot blijvende beschadiging.

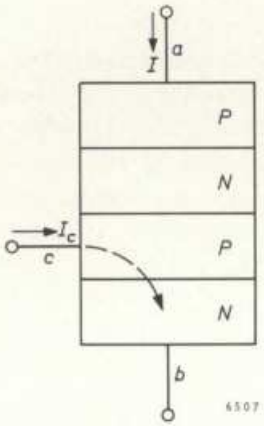


Fig. 1. Een bestuurbare siliciumgelijkrichter bestaat uit vier lagen silicium, afwisselend van type *P* en type *N*. De anode is aangeduid met *a*, de katode met *b*, de stuurelektrode met *c*.

In *fig. 2* is een karakteristiekenschaar van een bestuurbare siliciumgelijkrichter weergegeven. Men ziet dat de „doorslagspanning in de doorlaatrichting" lager wordt naarmate de stuurstroom I_c toeneemt.

Als commuteerelement kan de bestuurbare siliciumgelijkrichter veelal met voordeel triodes, thyratrons, ignitrons en transistors vervangen. Met

[9]) J. L. Moll, M. Tanenbaum, J. M. Goldey en N. Holonyak, *P-N-P-N* transistor switches, Proc. Inst. Radio Engrs. **44**, 1174-1182, 1956.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

ignitrons en transistors heeft deze gelijkrichter de afwezigheid van een katode gemeen die een zekere verwarmingstijd nodig heeft en die warm gehouden moet worden. Het spanningsverlies is, zoals gezegd, kleiner dan in thyratrons en ignitrons, en bij gevolg veel kleiner dan in triodes.

Een nadeel van omzetters met de nieuwe gelijkrichters, in tegenstelling met mechanische omzetters, is de grotere gevoeligheid voor overbelasting. Deze kan licht tot blijvende beschadiging van de gelijkrichtelementen leiden. Dit bezwaar is te ondervangen door bij het ontwerp een ruime veiligheidsmarge te nemen en/of door de omzetter te voorzien van een (bij voorkeur elektronische) beveiliging.

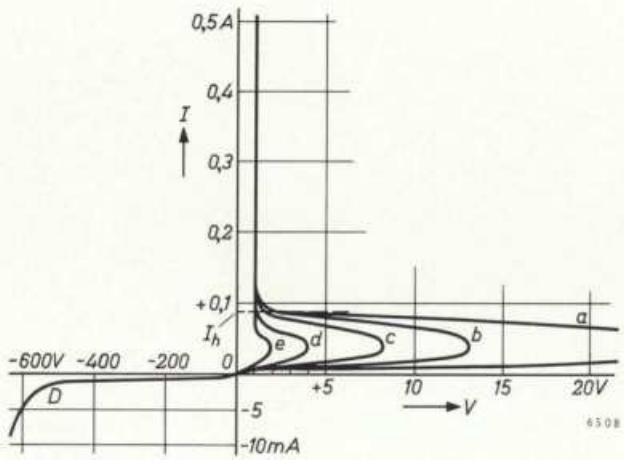


Fig. 2. Stroom-spanningskarakteristieken van een bestuurbare siliciumgelijkrichter. Rechts boven: doorlaatrichting; links beneden: keerrichting (met zowel I als V op andere schaal!). Parameter is de stuurstroom I_c ($= 0$ bij kromme a, telkens groter bij de krommen b, c, d en e). I_h houdstroom. Bij D slaat de gelijkrichter in de verkeerde richting door.

Een omzetter met bestuurbare siliciumgelijkrichters, voor treinverlichting

Om de bestuurbare siliciumgelijkrichters in een generatorschakeling telkens van de niet-geleidende in de geleidende toestand te brengen, zijn periodieke stuurimpulsen nodig, waarvan het opwekken geen probleem vormt. Meer aandacht vraagt de wijze om ze, bij de hoge schakelfrequentie die voor fluorescentieverlichting zo gunstig is, periodiek in de niet-geleidende toestand terug te brengen. De eenvoudigste en betrouwbaarste manier bestaat in het gebruik van een serietrillingsketen. De stroom heeft dan in aanleg een oscillerend karakter, zodat bij de eerste nuldoorgang het gelijkrichtelement automatisch stroomloos wordt.

Fig. 3 is een vereenvoudigd schema van een omzetter met bestuurbare siliciumgelijkrichters voor treinverlichting. De twee gelijkrichtelementen, P_1 en P_2, werken in balansschakeling. De condensator

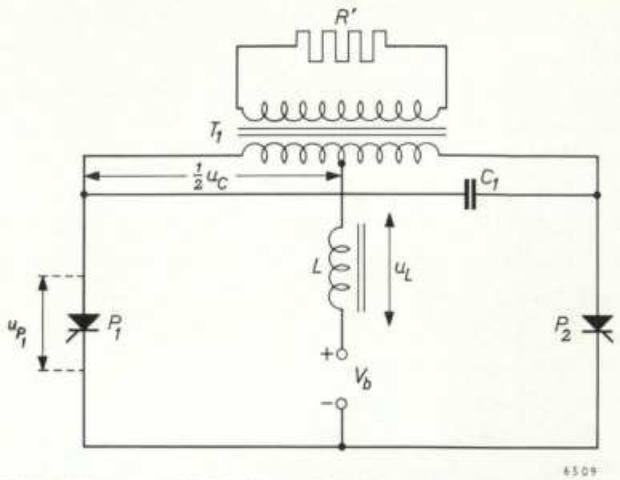


Fig. 3. Vereenvoudigd schema (besturing weggelaten) van een omzetter met bestuurbare siliciumgelijkrichters (P_1, P_2) in balansschakeling. T_1 transformator. C_1 commuteringscondensator. L smoorspoel. V_b batterijspanning. R' belastingsweerstand.

C_1, parallel met de primaire spoel van de transformator T_1, is de zg. commuteringscondensator. De belasting aan de secundaire zijde van de transformator is hier getekend als een weerstand R'. Wanneer de eerste stuurimpuls het gelijkrichtelement P_1 geleidend maakt, kunnen we de schakeling vervangen denken door die van *fig. 4*. Hierin zijn R en C de naar één helft van de primaire spoel getransformeerde waarden van R' en C_1 in fig. 3. De zoëven bedoelde serietrillingsketen wordt gevormd door C en de smoorspoel L. Bij het geleidend worden van P_1 komt de batterijspanning V_b plotseling tussen de klemmen *1* en *2* te staan. Bij juiste dimensionering van de keten zal de stroom i_1, die nu gaat vloeien, de

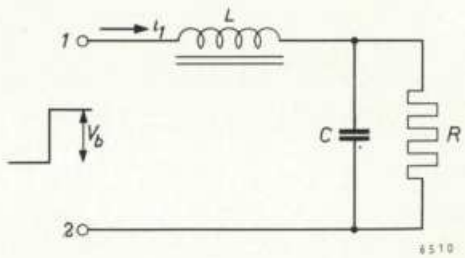


Fig. 4. Vervangingsschema, geldig vanaf het ogenblik waarop het gelijkrichtelement P_1 in fig. 3 geleidend wordt gemaakt. Tussen de klemmen *1* en *2* komt dan plotseling de gelijkspanning V_b te staan. C en R zijn de naar één helft van de primaire spoel getransformeerde waarden van C_1 en R' in fig. 3.

neiging hebben te verlopen zoals is getekend in *fig. 5*: een gedempte trilling, gesuperponeerd op een exponentieel toenemende stroom. Op het moment $t = t_1$ echter waarop i_1 de waarde nul bereikt, komt het gelijkrichtelement in de niet-geleidende toestand, zodat i_1 daarna voorlopig nul blijft. Als nu gezorgd wordt voor een volgende stuurimpuls aan P_2 — enige tijd *na* t_1, om de ladingdragers in P_1 gelegenheid te

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

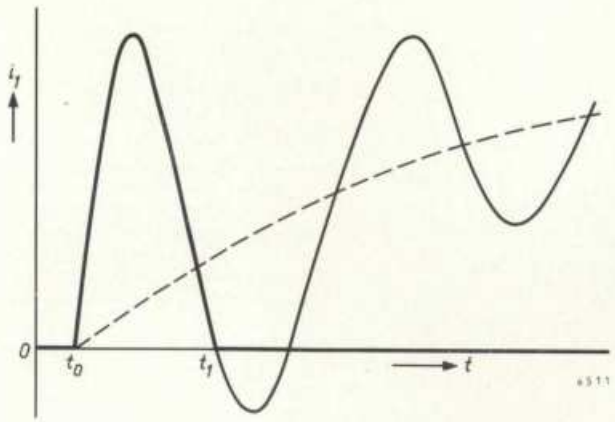


Fig. 5. De getrokken lijn geeft het verloop van de stroom i_1 in de schakeling van fig. 4: gedempte trilling, gesuperponeerd op een verloop volgens $V_b\,(1-e^{-\alpha t})/R$ (gestippeld). Daar het gelijkrichtelement het omkeren van de stroomrichting belet, blijft in de schakeling van fig. 3 de stroom i_1 vanaf de eerste nuldoorgang (bij t_1) nul, zodat men alleen het dik getekende stroomverloop krijgt.

geven om door recombinatie in voldoende mate te verdwijnen —, zal het proces zich herhalen, met dien verstande dat sommige grootheden van teken wisselen en dat, aangezien C nog een zekere lading heeft, de beginvoorwaarde anders is. Ook de stroom i_2, die thans door P_2 gaat vloeien, zal weer vanaf zijn eerste nuldoorgang nul blijven. Even later wordt P_1 weer geleidend gemaakt, en zo vervolgens. Bij periodieke herhaling van de stuurimpulsen zal zich een bepaalde stationaire toestand instellen, met als resultaat een wisselspanning over de transformator (fig. 3).

Korte analyse

In fig. 3 geldt voor de aldaar aangeduide spanningen:

$$u_{P_1} = V_b + u_L + \tfrac{1}{2}u_C. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

We onderscheiden twee toestanden van de schakeling: 1) één van de twee gelijkrichtelementen geleidt, het andere niet, en 2) geen van beide geleidt.

1) Eén gelijkrichtelement (P_1) geleidt, het andere niet. Dan is bij benadering $u_{P_1} = 0$, zodat volgens (1):

$$\tfrac{1}{2}u_C = -(V_b + u_L). \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Voor de stroom i_1, die van t_0 tot t_1 door P_1 loopt, kan men afleiden:

$$i_1 = \frac{V_b}{R} - \frac{V_b}{R\sin\varphi}\,e^{-\alpha t}\sin(\omega t+\varphi) + \frac{V_b+\tfrac{1}{2}U_C}{\omega L}\,e^{-\alpha t}\sin\omega t, \quad \ldots \quad (3)$$

waarin $\alpha = \dfrac{1}{2CR}$,

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \alpha^2},$$

$$\varphi = \text{arc tg}\,\frac{\omega}{\alpha},$$

U_C = spanning over C ten tijde $t = t_0$. (Uit een verdere berekening, die we hier achterwege laten, is U_C te vinden.)

Voor de spanning u_L tijdens het interval t_0-t_1 vinden we:

$$u_L = -\frac{V_b}{\omega CR}\,e^{-\alpha t}\sin\omega t + \frac{V_b+\tfrac{1}{2}U_C}{\sin\varphi}\,e^{-\alpha t}\sin(\omega t-\varphi). \quad (4)$$

Het verloop van i_1 en u_L tijdens het interval t_0-t_1 is globaal geschetst in *fig. 6a* en *b*. Als we U_C bekend onderstellen, is met behulp van (1) en (2) ook het verloop van u_C en u_{P_1} te construeren (fig. 6*c* en *d*).

2) Beide gelijkrichtelementen niet-geleidend. Na het tijdstip t_1 is P_1 niet geleidend. Tot het ogenblik t_2 waarop P_2 een stuurimpuls ontvangt, is de kring R-C dus aan zichzelf overgelaten, zodat C zich exponentieel ontlaadt met de tijdconstante RC. Daar i_1 en i_2 nu nul zijn, is ook u_L nul, en men vindt gemakkelijk het verloop van de verschillende spanningen tijdens het interval t_1-t_2, zie fig. 6*b*, *c* en *d*. Ook het verloop vanaf het moment t_2 is niet moeilijk

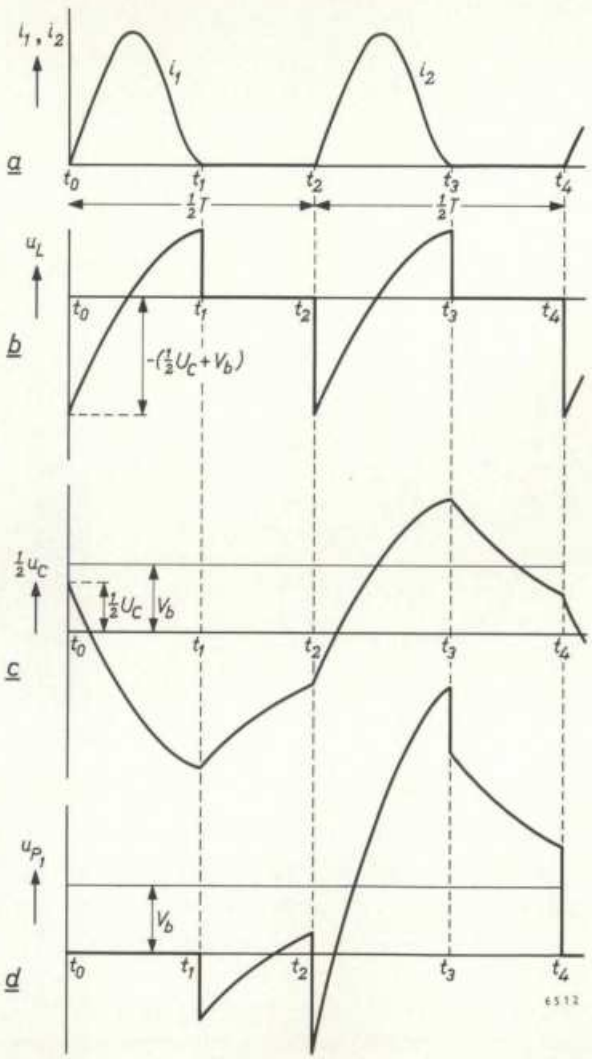


Fig. 6. Stromen en spanningen in de schakeling van fig. 3. Op de momenten t_0 en t_4 krijgt gelijkrichtelement P_1 een stuurimpuls, op het moment t_2 krijgt P_2 er een, en bij t_1 en t_3 wordt de stroom i_1 resp. i_2 nul. Tussen t_0 en t_4 ligt één periode T.
a) Stroom i_1 door P_1 en stroom i_2 door P_2.
b) Spanning u_L over de smoorspoel L (van t_0 tot t_1 gegeven door (4), van t_1 tot t_2 gelijk aan nul).
c) Spanning $\frac{1}{2}u_C$ over één helft van de primaire spoel (van t_0 tot t_1 gegeven door (2) en (4), van t_1 tot t_2 verlopend volgens $-\exp(-t/RC)$).
d) Spanning u_{P_1} over P_1:
t_0 - t_1 . . . $u_{P_1} \approx 0$,
t_1 - t_2 . . . $u_{P_1} = V_b + \frac{1}{2}u_C$,
t_2 - t_3 . . . $u_{P_1} = u_C$,
t_3 - t_4 . . . $u_{P_1} = V_b + \frac{1}{2}u_C$.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

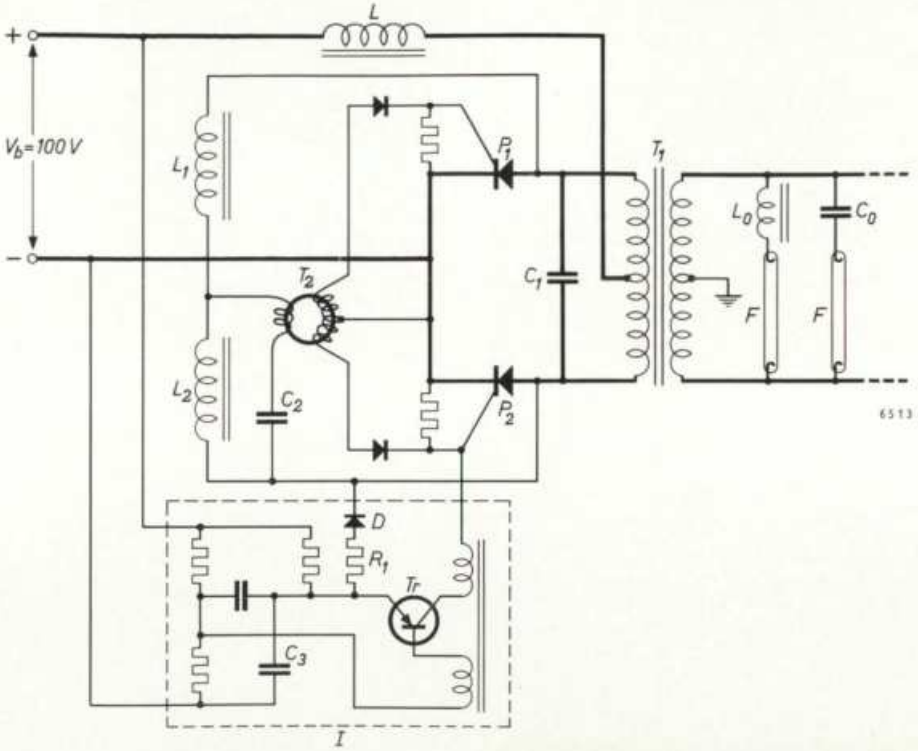


Fig. 7. Principeschema van een omzetter met bestuurbare siliciumgelijkrichters voor treinverlichting. P_1, P_2, L, C_1, T_1 en V_b (hier 100 V) als in fig. 3. F fluorescentielampen „TL" S (de ene helft met voorgeschakelde smoorspoelen L_0, de andere helft met voorgeschakelde condensatoren C_0). T_2 impulstransformator, met ringkern van ferriet met rechthoekige hysteresislus en door de omzetter zelf gevoed via netwerk L_1-L_2-C_2.

I generator van de startimpulsen. Condensator C_3 ontlaadt zich periodiek via de transistor Tr en de stuurelektrode en de katode van P_2. Zodra de omzetter eenmaal oscilleert, is telkens gedurende een deel van elke periode de anode van P_2 negatief ten opzichte van de katode (zie fig. 6*d*); deze negatieve spanning ontlaadt de condensator C_3 via de diode D en de weerstand R_1, zodat de startimpulsgenerator dan buiten werking blijft.

af te leiden. Voor een uitvoerige behandeling zij naar de literatuur verwezen [10]).

Uit fig. 6*d* blijkt o.a. dat de spanning over de gelijkrichtelementen ettelijke malen V_b kan worden, afhankelijk van de dimensionering der schakeling en van de belasting. Hiermee dient bij het kiezen van V_b of van het type gelijkrichtelement rekening te worden gehouden.

Uit (3) volgt dat met de keuze van L en C de duur t_0-t_1 van de geleiding binnen iedere halve periode T bepaald is. We hebben het dus in de hand, de gelijkrichtelementen telkens een bepaalde „hersteltijd" te geven, van t_1 tot t_2 ($t_2 = t_0 + \frac{1}{2}T$), zoals voor een goede werking nodig is.

Fig. 7 geeft het volledige principeschema van de omzetter. De weerstandsbelasting van fig. 3 is nu vervangen door een aantal „TL" S-lampen (dit type is gekozen omdat het zonder starter werkt). De helft van het aantal lampen heeft als voorschakelapparaat een spoeltje met zelfinductie L_0, de andere helft een condensatortje met capaciteit C_0. De waarde L_0C_0 is gekozen in de buurt van resonantie met de frequentie van de omzetter. Daar de spanning ruwweg sinusvormig is (zie fig. 6*c*),

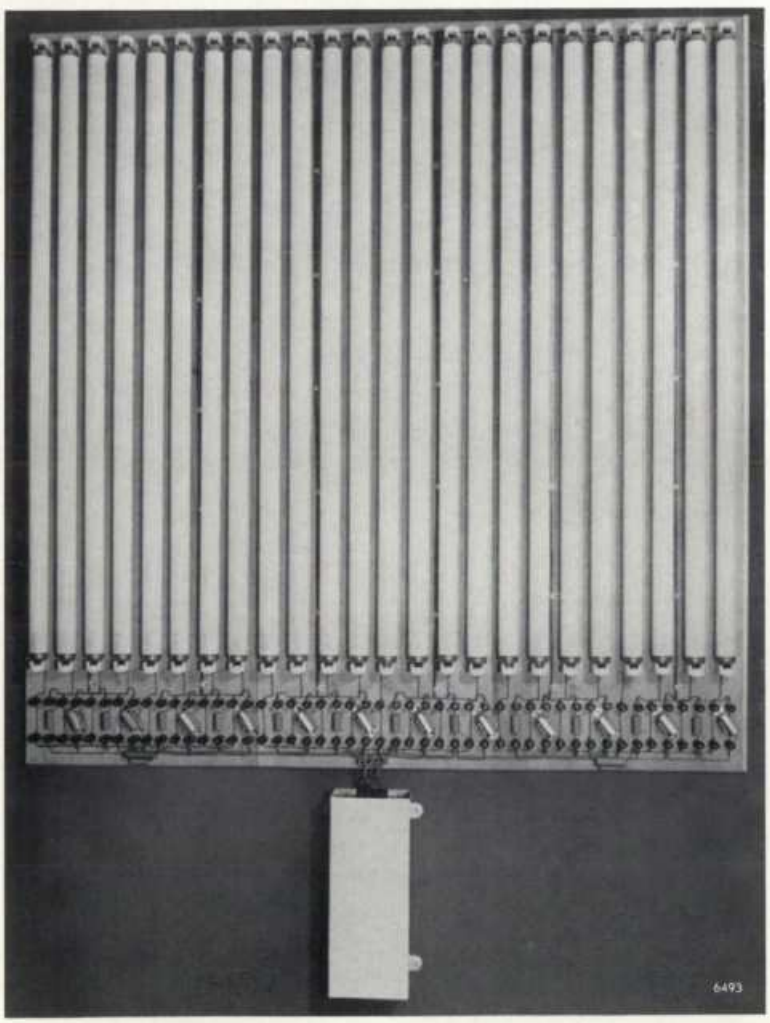


Fig. 8. Experimentele omzetter volgens fig. 7, met als belasting 24 „TL"S-lampen van 40 W.

[10]) W. Schilling, Berechnung des Parallelwechselrichters bei ohmscher Belastung, Arch. Elektrotechn. **29**, 119-130, 1935. C. F. Wagner, Parallel inverter with inductive load, Trans. Amer. Inst. El. Engrs. **55**, 970-980, 1936.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

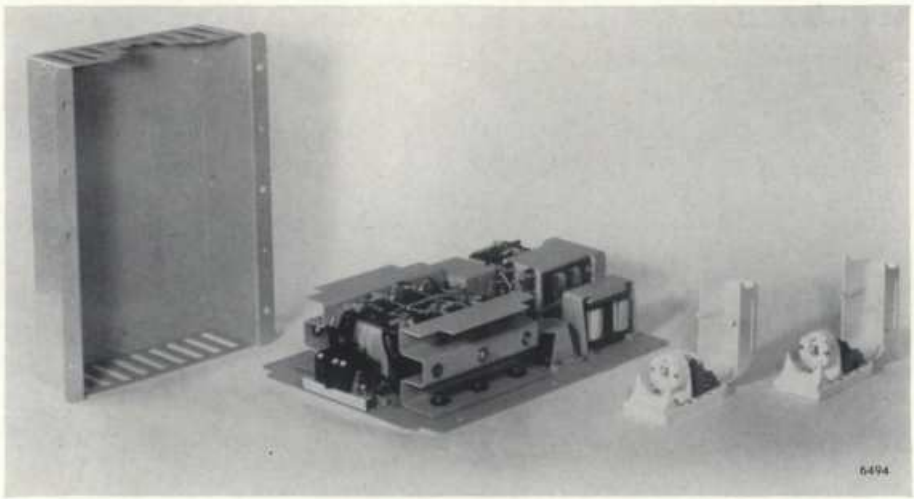


Fig. 9. Omzetter volgens fig. 7, bestemd voor de fluorescentieverlichting in een proeftrein van de Nederlandse Spoorwegen. Ingangsspanning 100 V, vermogen 1 kW, frequentie 7 kHz, rendement meer dan 85 %, gewicht ca. 10 kg. Rechts twee normale kappen van een „TL" lamp, met daarin gemonteerd een „voorschakelapparaat" (bij de ene een smoorspoeltje, bij de andere een condensatortje).

maakt deze belasting voor de omzetter weinig verschil met een weerstandsbelasting.

Bij het inschakelen wordt de omzetter aan de gang gebracht door startimpulsen, afkomstig van de impulsgenerator I, die met een transistor werkt. Zodra de omzetter oscilleert, wordt de impulsgenerator automatisch buiten werking gesteld (zie onderschrift van fig. 7). De stuurimpulsen worden nu geleverd door de impulstransformator T_{21}, die een ringkern heeft van ferriet met rechthoekige hysteresislus. De primaire wikkeling van deze transformator wordt via de spoelen L_1 en L_2 en de condensator C_2 gevoed uit de omzetter zelf. De herhalingsfrequentie van de impulsen is in te stellen met de waarden van L_2 en C_2.

Fig. 8 toont een experimentele omzetter voor 1 kW volgens dit principe, voor voeding met 100 V gelijkspanning. De belasting bestaat uit 24 „TL"S-lampen van 40 W. In *fig. 9* is een latere versie van deze omzetter afgebeeld; deze is bestemd voor de verlichting van een proeftrein van de Nederlandse Spoorwegen. Fig. 9 geeft ook een indruk van de geringe afmetingen van de „voorschakelapparaten"; deze zijn zo klein dat ze in de bestaande kappen, die de lamphouders afdekken, kunnen worden ondergebracht.

De frequentie van de in fig. 9 afgebeelde omzetter is 7 kHz, het rendement meer dan 85%, het gewicht ca. 10 kg.

Samenvatting. Voor het voeden van fluorescentielampen uit een gelijkstroombron (zoals in treinen) werden tot dusverre vaak mechanische gelijkstroom-wisselstroomomzetters gebruikt. Thans zijn elektronische omzetters in opkomst, waarvan hier een nieuw type wordt besproken, dat met bestuurbare siliciumgelijkrichters werkt. Deze *P-N-P-N*-gelijkrichters kunnen aanzienlijk grotere vermogens schakelen dan transistors en hebben een spanningsverlies van slechts 1 tot 1,5 V, wat een orde kleiner is dan het spanningsverlies in thyratrons en ignitrons. Omzetters met bestuurbare siliciumgelijkrichters hebben een veel ruimer toepassingsgebied dan mechanische omzetters en zullen deze in een nabije toekomst grotendeels verdringen. Ze kunnen werken in het frequentiegebied van 5 tot 10 kHz, dat voor fluorescentieverlichting bijzondere voordelen heeft, o.a.: de voorschakelapparaten kunnen heel klein en licht zijn en uiterst geringe verliezen hebben, en het lichtrendement is ca. 10% hoger dan bij 50 Hz. Beschreven wordt een omzetter met bestuurbare siliciumgelijkrichters voor treinverlichting; de ingangsspanning is 100 V, het vermogen 1 kW, de frequentie 7 kHz. In combinatie met gelijkrichters komen de nieuwe omzetters in aanmerking voor fluorescentieverlichting in kantoren en fabrieken. Te verwachten is dat de nu nog vrij hoge kosten van zo'n installatie binnen niet te lange tijd zodanig zullen dalen dat de investering rendabel wordt door de energiebesparing.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

EEN APPARAAT VOOR HET AUTOMATISCH REGISTREREN VAN ISOCANDELAKROMMEN VAN BUNDELLICHTEN

door W. BÄHLER *).

535.247.4:628.971.85:629.113

Een van de problemen waarmee de ontwerper van bundellichten te maken heeft, is het verkrijgen van een bundelpatroon waarvan de vorm aan bepaalde eisen voldoet. Voor de verlichting van vliegvelden b.v. wenst men bundels die in het horizontale vlak vrij breed zijn, maar in het verticale zeer nauw. Voor bakenlichten, signaallichten en autokoplantaarns gelden gecompliceerde eisen — voor bakens van geval tot geval verschillend — en ook voor slagverlichting wenst men dikwijls bundels die niet eenvoudig radiaalsymmetrisch zijn.

Als voorbeeld bespreken we aan de hand van *fig. 1* in 't kort de eisen die in vele Europese landen thans gesteld worden aan de dimbundel van een autokoplantaarn [1]). Globaal gesproken, moet deze bundel zo zijn dat de automobilist die op een onverlichte weg voor een tegenligger dimt, enerzijds deze tegenligger niet verblindt maar anderzijds toch op het wegdek voor zijn auto een voldoende verlichting overhoudt. In de genoemde figuur vindt men de perspectivische afbeelding van een 6 m brede weg zoals een autolantaarn (75 cm boven het wegdek geplaatst) die „ziet" wanneer hij zich boven het midden van de rechterhelft van de weg bevindt. Tekent men het lijnensysteem van deze figuur met de aangegeven afmetingen op een scherm en plaatst men dit op 25 m afstand van de lantaarn, dan moet de lichtvlek die de lantaarn op het scherm werpt, aan de volgende eisen voldoen. In de eerste plaats moet er een overgang. licht-donker zijn die zo scherp is dat men hem kan gebruiken voor het instellen van de lantaarn De lantaarn wordt zo ingesteld dat deze overgang op de linkerhelft van het scherm op een horizontale lijn 25 cm onder de lijn *h-h* valt; op de weg is dat een dwarslijn op een afstand van 75 m voor de auto. Rechts van het midden moet de licht-donkergrens omhoog lopen. Is de lantaarn aldus ingesteld, dan mag de verlichtingssterkte in de diverse zones en punten van het scherm de rood aangegeven waarden niet overschrijden. Zoals men ziet, loopt de ondergrens van zone III aan de rechterzijde op een lijn die 15° helt. Verder wordt op de rechter wegrand een vrij grote verlichtingssterkte geëist. Een bundel die aan deze eisen voldoet, zal dus asymmetrisch zijn [2]).

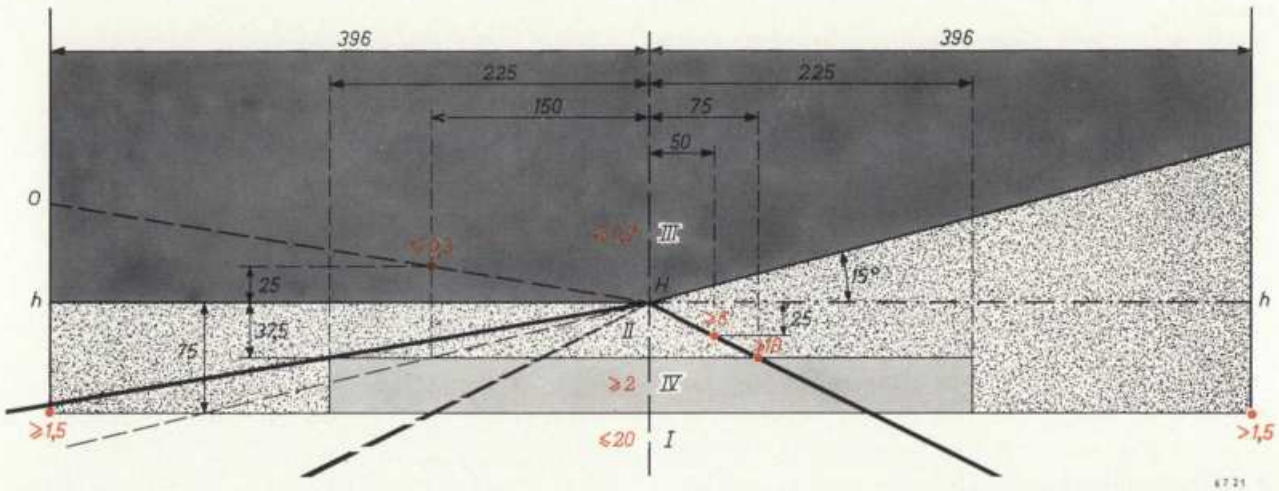


Fig. 1. Perspectivische tekening van een 6 m brede weg zoals die gezien wordt door een oog dat zich op 75 cm hoogte boven het midden van de rechterhelft van de weg bevindt. De streeplijn *HO* is de baan die het oog van een tegemoetrijdende automobilist ongeveer volgt. Voor het onderzoek of de dimbundel van een autolantaarn aan de eisen voldoet, tekent men deze figuur met de aangegeven maten op een scherm en plaatst dit op 25 m afstand voor de lantaarn. De in diverse punten en de zones *I-IV* van het scherm optredende verlichtingssterkte moet in de meeste Europese landen voldoen aan de met rood aangegeven eisen. De stand van de lantaarn moet zodanig zijn, dat de op de linkerweghelft vereiste, scherpe overgang licht-donker op het scherm op een horizontale lijn valt die 25 cm onder de lijn *h-h* ligt (dat is op de weg 75 m voor de auto). Na overschakelen op de hoofdbundel, mag de verlichtingssterkte in het punt *H* niet kleiner zijn dan 90% van de maximale.

*) Natuurkundig Laboratorium, Eindhoven.

[1]) Een vergelijkende beschouwing over de eigenschappen van de (toenmalige) Europese en de Amerikaanse dimbundel vindt men in J. B. de Boer en D. Vermeulen, Philips techn. T. **12**, 309, 1950.

[2]) Zie b.v. J. B. de Boer, Een „Duplo" autokoplantaarn met asymmetrische dimbundel, Philips techn. T. **17**, 132-133, 1955.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Het zal duidelijk zijn dat de optische constructeur die een bundellicht moet ontwerpen dat aan een dergelijk gecompliceerd stel eisen voldoet, in een groot aantal punten van de lichtvlek die een proeflantaarn op een scherm werpt, de verlichtingssterkte zal willen meten. In de praktijk zoekt men in de regel een reeks punten waarin een bepaalde verlichtingssterkte heerst en tekent men in de figuur door die punten een gesloten kromme, een zg. isoluxkromme. Daar de lantaarn in alle richtingen die met punten van zo'n kromme corresponderen (althans voor nauwe bundels), een gelijke lichtsterkte heeft, kan men de kromme evenzeer beschouwen als isocandelakromme. Een compleet lichtverdelingsdiagram bestaat uit tien of meer isocandelakrommen.

In sommige gevallen stelt men aan de nauwkeurigheid van de isocandelakrommen zo hoge eisen dat een uitzonderlijk groot aantal meetpunten vereist zou zijn. Ten einde het tijdrovende meetwerk te elimineren, is te Eindhoven een apparaat geconstrueerd dat in staat is isocandelakrommen geheel automatisch op te tekenen. Men behoeft bij gebruik van dit apparaat niets anders te doen dan de lichtsterkte in te stellen waarvoor men een isocandelakromme getekend wenst te zien. Het optekenen van een volledig lichtverdelingsdiagram vereist niet meer dan ca. 20 minuten.

We willen in dit artikel een beschrijving geven van de werking en de bouw van deze zg. isocandelaschrijver [3]). We zullen beginnen met het principe van de werking. Het zal daarbij blijken dat men het apparaat kan beschouwen als een gesloten regelkring. Na de belangrijkste eigenschappen te hebben besproken, vervolgen we met een beschrijving van de constructieve uitvoering. Het laatste deel van het artikel zal gewijd zijn aan een regeltechnische beschouwing van alle onderdelen die te zamen de zojuist genoemde gesloten regelkring vormen.

Het principe van de werking

Het principe waarop de werking van de isocandelaschrijver berust, kan worden verduidelijkt aan de hand van een beschouwing waarbij wij het lichtverdelingspatroon als berglandschap voorstellen (*fig. 2*). De hoogte komt hierbij overeen met de verlichtingssterkte op het scherm, de isoluxlijnen vinden wij terug als hoogtelijnen in het berglandschap. Het instrument waarmee we de verlichtingssterkte bepalen, de fotocel, is in dit geval een hoogtemeter. Deze hoogtemeter is gemonteerd op een éénwielig wagentje dat zich over de berg voortbeweegt doordat het loopwieltje wordt aangedreven door een motortje. Dit wagentje bevindt zich aan het ondereind van een verticale as, de stuuras, waarvan de stand door middel van een motor gewijzigd kan worden.

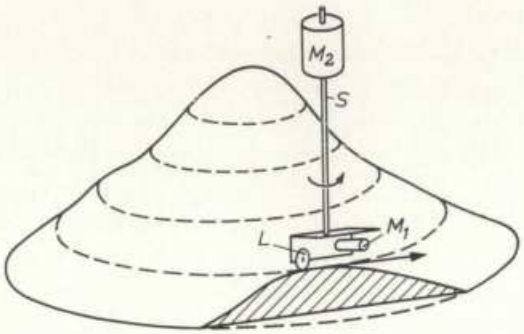


Fig. 2. Het principe van de werking van de isocandelaschrijver, verduidelijkt door beschouwing van een apparaat dat automatisch hoogtelijnen op een berg beschrijft. Het loopwieltje L van het wagentje wordt aangedreven door de motor M_1. Op het wagentje is een hoogtemeter aangebracht. Indien de hoogte waarop het loopwieltje over de berghelling rijdt, afwijkt van de ingestelde waarde, bekrachtigt het door de hoogtemeter geleverde verschilsignaal de stuurmotor M_2 en vindt een zodanige koersverandering plaats dat het wagentje naar de gezochte hoogtelijn terugkeert.

Uit fig. 2 kan men aflezen dat, indien de stand van de stuuras niet wordt gewijzigd, het wagentje de hoogtelijn waarop het is gestart, niet zal blijven volgen. Het zal in het getekende geval van de berg afrijden, waardoor de hoogtemeter een geringere hoogte zal gaan aanwijzen dan die van de gezochte hoogtelijn. Het feit dat een afwijking van de gewenste waarde direct geconstateerd wordt, geeft de mogelijkheid de stuurmotor zijn werk op de juiste wijze te doen verrichten. De afwijking wordt daartoe omgezet in een elektrisch signaal en dit wordt, na versterking, toegevoerd aan de stuurmotor. Indien de onderdelen, wat teken betreft, op geschikte wijze gekoppeld zijn, zal nu de stuurmotor de stuuras zó verstellen dat de afwijking van de juiste koers (in ons voorbeeld de hoogtelijn) gecorrigeerd wordt.

Uit het bovenstaande kan men concluderen dat de steilheid van de helling waarlangs het wagentje zich beweegt, van invloed moet zijn op het gedrag van het apparaat. Op een nagenoeg *vlak* stuk van de berg zal bij een bepaalde afwijking ten opzichte van de juiste koers de verandering in de aanwijzing van de hoogtemeter — d.i. het signaal dat gebruikt wordt om het wagentje „terug te sturen" — slechts gering zijn, vergeleken bij een koersafwijking van dezelfde grootte langs een *steile* helling. We signaleren dit feit alvast wegens zijn belang voor de stabiliteit van de regelkring.

[3]) Een korte beschrijving van een voorlopige uitvoering van het apparaat vindt men in Philips techn. T. **20**, 320, 1958.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Een schematische voorstelling van de werking van de isocandelaschrijver zelf vindt men in *fig. 3*. Deze verschilt van die van de hoogtelijnenschrijver slechts daarin dat hier niet het lichtverdelingspatroon (de „berg") stilstaat en de fotocel (de „wagen") zich langs het scherm beweegt, maar dat de fotocel stilstaat en de lantaarn gedraaid wordt. In het midden links ziet men weer het wagentje aan het ondereinde van de stuuras S, die hier in vast opgestelde legers draait. Het wieltje van het wagentje wordt in draaiing gebracht door de motor M_1. Dit wieltje brengt op zijn beurt het plateau T in beweging dat zich in zijn vlak in twee onderling loodrechte richtingen kan verplaatsen. De beide coördinaten die de positie van het plateau bepalen, worden ieder door een elektrisch positievolgsysteem omgezet in een draaiingshoek, nl. resp. het azimut en de elevatie van de lantaarn L. De verlichtingssterkte die deze in de desbetreffende richting teweegbrengt op de vast opgestelde fotocel F, wordt door deze omgezet in een elektrisch signaal. Dit wordt in de schakeling D_1 vergeleken met het referentiesignaal E_1, dat overeenkomt met de verlichtingssterkte waarvoor men een kromme opgetekend wenst te zien. Het eventueel optredende verschilsignaal ε wordt in A_1 versterkt en toegevoerd aan de stuurmotor M_2. Men verkrijgt nu een isocandelacurve door op het plateau T een papier te bevestigen en hierop de vast opgestelde pen p te laten drukken. Deze pen schrijft dan op het papier de gezochte kromme. Het doet er in principe niet toe, waar men papier en pen situeert; de plaatscoördinaten van ieder punt van het plateau variëren immers op dezelfde wijze, en de getekende kromme is dus in ieder geval congruent met de weg die het wieltje op het plateau beschrijft.

Het door het apparaat geleverde diagram is niet exact een verkleinde kopie van het diagram dat men op het reeds genoemde scherm zou kunnen tekenen (fig. 1). Het verschilt ervan doordat als coördinaten gebruikt zijn het azimut en de elevatie van de desbetreffende richting — hoeken dus — en niet de afstanden op het scherm. Voor kleine hoeken maakt dat, zoals bekend, geen verschil.

De essentie van de methode bestaat, zoals men ziet, in de terugkoppeling die er via D_1, de stuurmotor plus wagen, het plateau en de positieopne-

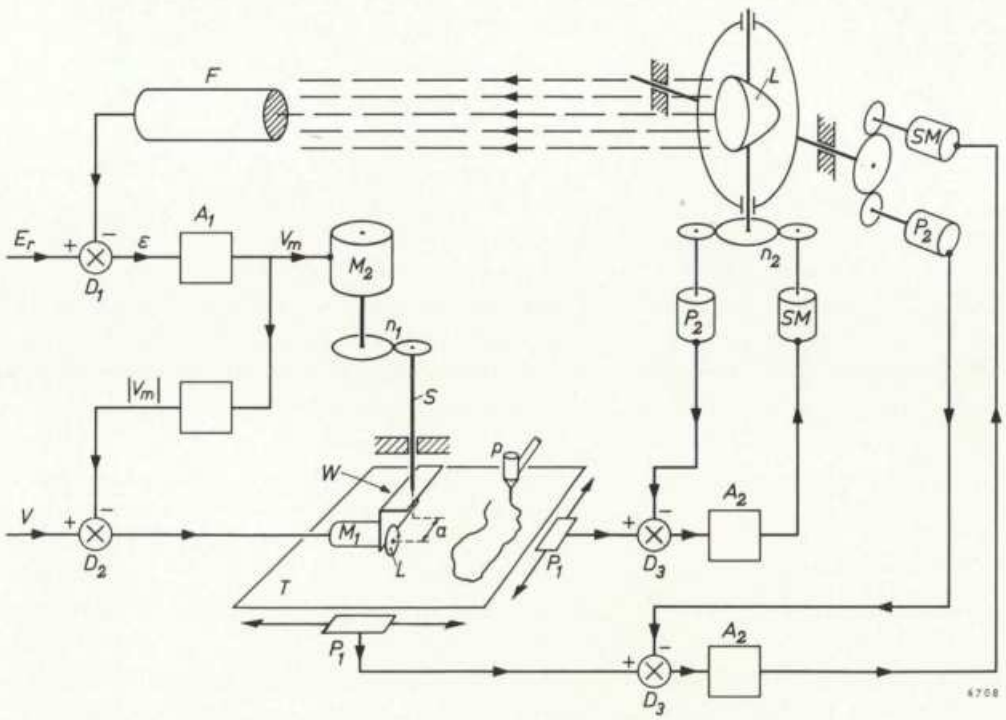


Fig. 3. Principeschema van de isocandelaschrijver. Rechts boven de lantaarn L; azimut en elevatie kunnen binnen een beperkte hoek variëren. F geijkte, vast opgestelde, fotocel. Het uitgangssignaal van F wordt in D_1 vergeleken met het instelbare referentiesignaal E_r. Het verschilsignaal ε wordt in A_1 versterkt en bekrachtigt de stuurmotor M_2, die via een tandwieloverbrenging de in vaststaande legers ondersteunde stuuras S van het wagentje W kan doen draaien. Het loopwieltje L van het wagentje wordt aangedreven door de motor M_1. T plateau dat zich in zijn vlak in twee onderling loodrechte richtingen kan verplaatsen en dat door het wieltje L in beweging wordt gebracht. De positiecoördinaten van T worden ieder door een positievolgsysteem omgezet in resp. azimut en elevatie van de lantaarn. Ieder positievolgsysteem bestaat uit een positieopnemer P_1 bij het plateau, een servomotor SM, een positieopnemer P_2 bij de lantaarn, een verschilschakeling D_3 en een versterker A_2. De met de waarde van E_r corresponderende isocandelakromme wordt door de vaststaande pen p op een papier getekend dat zich op het plateau bevindt. De motor M_1 wordt gevoed met het door D_2 geleverde verschil van de absolute waarde $|V_m|$ van de stuurmotorspanning en een constante spanning V. Het raakpunt van het loopwieltje en het plateau ligt op een afstand a van het verlengde van de stuuras.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

mers enz. bestaat tussen fotocel en lantaarn en die er automatisch voor zorgt dat slechts die posities van de lantaarn kunnen optreden waarvoor de verlichtingssterkte de gewenste waarde heeft.

Zoals men uit de figuur kan aflezen, wordt het aandrijfmotortje M_1 niet gevoed met een constante spanning maar met het verschil van de absolute waarde van het ingangssignaal van de stuurmotor M_2 en een constante spanning V. De betekenis hiervan zal nog ter sprake komen. Hetzelfde geldt voor het feit dat het punt waar het loopwieltje het plateau T raakt, niet in het verlengde van de stuuras ligt, maar op een afstand a daarnaast.

Het apparaat als regelkring

Een beschouwing van fig. 3 leert dat men het apparaat, zoals in de inleiding reeds werd aangekondigd, kan beschouwen als een gesloten regelkring. In *fig. 4* vindt men deze kring schematisch weergegeven.

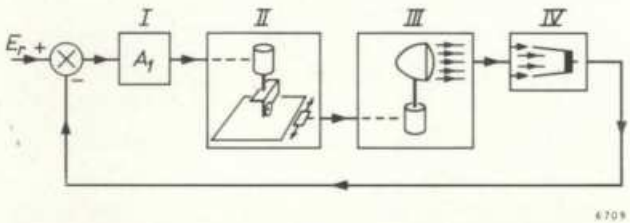


Fig. 4. Schematische voorstelling van de isocandelaschrijver als regelkring. Blok *I* representeert de versterker A_1 van fig. 3, blok *II* de stuurmotor met wagen, plateau en positieopnemers, blok *III* de rest van de positievolgsystemen en de lantaarn, blok *IV* de fotocel, waarvan het uitgangssignaal vergeleken wordt met het referentiesignaal E_r.

Hoewel de regeltechnische eigenschappen van de onderdelen van de kring aan het slot uitvoerig worden besproken, willen we hier reeds een korte beschouwing wijden aan de eigenschappen van de kring als geheel, en wel aan de hand van een vereenvoudigde formule voor de overbrengingsverhouding $KG(j\omega)$ van de open kring — dat is de complexe verhouding tussen het uitgangssignaal van de fotocel en het ingangssignaal van A_1 (fig. 4) in geval de terugkoppeling onderbroken is — en het daaruit af te leiden Bode- en Nyquist-diagram [4]). Deze formule luidt:

$$KG(j\omega) \approx$$

$$\approx \text{const.} K_E R_p(E) \frac{1 + j\omega\tau_3}{(j\omega\tau_0)^2(1 + 2\zeta j\omega\tau_6 - \omega^2\tau_6^2)}. \quad (1)$$

Hierin is $\tau_3 = a/v$, het quotiënt van de reeds genoemde afstand a (zie fig. 3) en de snelheid v van het wagentje, d.w.z. τ_3 is de tijd waarin het wieltje de afstand a aflegt. Verder is τ_0 de eenheid van tijd, τ_6 een tijdconstante waarvan de waarde bepaald wordt door de eigenschappen van de positievolgsystemen, K_E de gradiënt van de verlichtingssterkte op de plaats die op het desbetreffende ogenblik door de fotocel „bekeken" wordt — een grootheid die dus varieert tijdens het optekenen van een isocandelakromme —, en ζ een dempingsconstante die samenhangt met τ_6 en met enige constanten van het systeem die verder in (1) niet voorkomen (zie het slothoofdstuk). De factor $R_p(E)$, ten slotte, is afkomstig van de fotocel. De waarde ervan varieert met de verlichtingssterkte E.

Het bijbehorende Bode-diagram, benaderd door drie rechten, vindt men geschetst in *fig. 5*, het Nyquist-diagram in *fig. 6*. De hellingscoëfficiënt van de drie rechten is resp. −2, −1 en −3. Het snijpunt van de beide eerstgenoemde rechten ligt op de verticaal $\omega = 1/\tau_3$. De fazedraaiing bij deze frequentie is meer dan 135°. Het tweede knikpunt

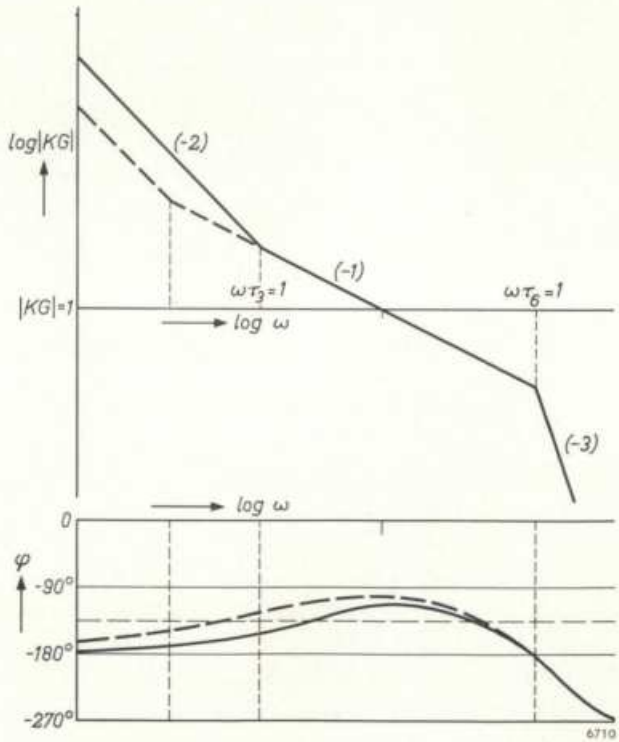


Fig. 5. Bode-diagram (schematisch) van de volledige (open) regelkring. De door rechte lijnen benaderde amplitudekarakteristiek bestaat uit drie takken met resp. de richtingscoëfficiënt −2, −1 en −3. De frequentie $\omega = 1/\tau_3$ waarbij de eerste knik optreedt, varieert met de snelheid v van het wieltje en de afstand a (vgl. fig. 3): $\tau_3 = a/v$. De fazedraaiing φ is bij deze frequentie meer dan 135°. De streeplijnen tonen hoe de beide karakteristieken veranderen wanneer v kleiner wordt. Zoals men ziet, neemt de versterking dan af en de fazemarge (d.i. $180° - |\varphi|$) neemt toe.

[4]) Voor de begrippen, definities en rekenmethodes uit de regeltechniek waarvan we in dit artikel gebruik zullen maken, kan de lezer worden verwezen naar drie artikelen over regeltechnische onderwerpen die in de nos. 3, 4 en 5 (blz. 79-88, 114-118 en 159-165) van de lopende jaargang van dit tijdschrift verschenen zijn.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

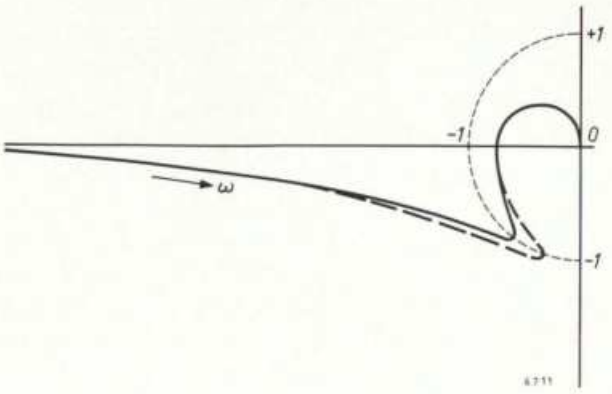


Fig. 6. Nyquist-diagram, afgeleid uit fig. 5. Ook hier geldt de streeplijn voor een kleinere waarde van v dan de getrokken lijn.

treedt op bij $\omega = 1/\tau_6$. De fazedraaiing is hier ongeveer —180°. (De fazedraaiing bij $\omega = 1/\tau_3$ ligt dichter bij —135° naarmate τ_3 en τ_6 meer verschillen en naarmate ζ kleiner is.)

Uit het Nyquist-diagram kan men aflezen dat de kring stabiel is als de diverse constanten de waarden hebben waarvoor fig. 5 en fig. 6 gelden. Gaat men nl. langs de Nyquist-kromme van het punt dat correspondeert met $\omega = \infty$ (de oorsprong) naar het punt waarvoor $\omega = 0$ is, dan ziet men het punt (—1,0), overal waar dat niet door een ander deel van de kromme afgeschermd wordt, aan zijn rechterhand [5]).

De stabiliteitseigenschappen verschillen echter van die welke we bij eenvoudige regelkringen aantreffen. Uiteraard treedt ook hier instabiliteit op indien men de versterking opvoert — het punt (—1,0) schuift dan in fig. 6 ten opzichte van de kromme naar rechts —, maar ook mag de versterking niet willekeurig klein zijn. Weliswaar treedt bij zeer kleine versterking geen instabiliteit op, maar de fazedraaiing ligt dan zo dicht bij —180° — de zg. fazemarge is zo klein — dat de demping van het systeem te zwak is en een uitslingerverschijnsel te lang duurt.

Zoals reeds werd aangestipt, is K voor de onderhavige regelkring geen constante die men op een gewenste waarde kan fixeren: K varieert evenredig met de gradiënt K_E van het verlichtingspatroon. Deze variaties kunnen zo groot zijn — wel een factor 20, zie *fig. 7* — dat de stabiliteit in gevaar komt. Het niet constant zijn van R_p leidt niet tot moeilijkheden. Langs één en dezelfde isoluxlijn is E uiteraard constant en R_p dus ook. De verandering van R_p bij overgang op een volgende E-waarde kan men gemakkelijk compenseren door vóór het schrijven van iedere isoluxkromme de kringversterking opnieuw op de oude waarde in te stellen.

[5]) De hier gebruikte vereenvoudigde versie van het stabiliteitscriterium van Nyquist is equivalent met die welke in het eerste in [4]) aangehaalde artikel gebruikt werd.

Ten einde duidelijk te maken hoe de moeilijkheid die de variatie van K_E oplevert, is opgelost, bespreken we eerst op welke wijze $G(j\omega)$ verandert wanneer men de grootheid τ_3 varieert. We beginnen met het extreme geval waarbij de afstand $a = 0$ en dus ook $\tau_3 = 0$ is. In dit geval bestaat het Bode-diagram wat de amplitude betreft uitsluitend uit twee rechten met resp. de helling —2 en —4 en is de absolute waarde $|\varphi|$ van de fazedraaiing voor alle frequenties $\geqq 180°$ ($= 180°$ voor de lage frequenties en $> 180°$ voor de hoge.) De Nyquist-kromme valt voor de lage frequenties samen met de negatieve reële as en loopt er voor de hoge zelfs boven. Het systeem kan dus bij geen enkele waarde van de versterking stabiel zijn. *Het ongelijk nul zijn van de afstand a is dus een essentiële voorwaarde voor de stabiliteit van het apparaat.*

De invloed van beperkte variaties van v op het Bode-diagram is deze dat het eerste knikpunt zich beweegt langs de lijn met helling —1. Door een vergroting van τ_3 neemt dus in het gebied der lage frequenties de kringversterking af. Tevens wordt de fazemarge groter (zie streeplijnen fig. 5 en fig. 6). Van dit effect nu is gebruik gemaakt om de zojuist genoemde hinderlijke variatie van K met K_E min of meer te compenseren. Keren we terug tot fig. 3, dan zien we dat de motor M_1 die het loopwieltje aandrijft, niet met een constante snelheid draait, maar gevoed wordt door het verschil van de absolute waarde van het met K_E evenredige stuursignaal en een (grotere) constante spanning V. Bij toeneming van K_E gaat het motortje dus langzamer draaien en neemt τ_3 toe. De vergroting van K door het toenemen van K_E wordt dus tegengewerkt door de daarmee gepaard gaande vergroting van τ_3.

Deze ruwe compensatie van de variaties van K_E is voor de praktijk voldoende en aanmerkelijk eenvoudiger dan een waarbij K_E gemeten wordt en de versterkingsfactor van A_1 dienovereenkomstig gevarieerd zou worden. Er zij nog opgemerkt dat de

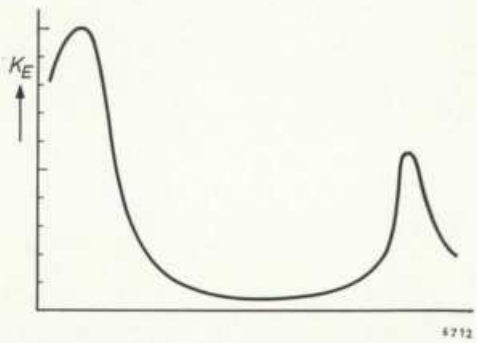


Fig. 7. Het verloop van de gradiënt K_E van de verlichtingssterkte langs de isocandelalijn voor 4,0 lux van diagram A op blz. 224 van dit nummer. Men ziet dat de uiterste waarden van K_E niet minder dan een factor 20 uiteen liggen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

snelheid van het loopwieltje niet alleen varieert met K_E, maar óók met de kromtestraal van de isocandelakromme. Dit is nog een bijkomend voordeel: scherpe bochten worden behoedzaam geschreven.

Constructie en uitvoering

We zullen thans de constructie van de diverse onderdelen van de isocandelaschrijver de revue laten passeren [6]). Vooraf zij erop gewezen dat de mechanische werking van het apparaat op één punt verschilt van die welke door fig. 3 gesuggereerd wordt. In deze figuur zijn eenvoudigheidshalve de stuuras en de pen beschouwd als vast opgesteld en wordt het plateau T geacht in twee onderling loodrechte richtingen te kunnen bewegen. Bij de vroeger beschreven voorlopige uitvoering van het apparaat [3]) was hiervan reeds in zoverre afgeweken dat het plateau zich in één richting bewoog en de wagen met stuurmotor, samen met de pen, in de andere. Bij de definitieve uitvoering zijn we nog een stap verder gegaan en is het plateau opgerold tot een cilinder die om zijn as kan draaien. Bij zulk een draaiing beweegt zich de cilinder (trommel), evenals vroeger het plateau, in één coördinaatrichting in zijn eigen vlak. Het papier wordt hier aangebracht op de buitenkant van de trommel, het loopwieltje rolt over de binnenkant.

In *fig. 8* ziet men hoe het apparaat is uitgevoerd en opgesteld. Links ziet men de trommel en de bedieningslessenaar, rechts de lantaarnhouder met daaronder een kast waarin zich de positievolgsystemen bevinden.

De trommel met stuurwagen en pen

De constructie van de trommel met toebehoren zullen we verduidelijken aan de hand van *fig. 9*. Op de tafel ziet men links en rechts van de eigenlijke trommel twee steunen *1*, die twee evenwijdige horizontale stangen *2* dragen. Aan deze stangen zijn de beide eindplaten *3* van de trommel vastgemaakt. In het inwendige van de trommel fungeren ze verder als de rechtgeleidingen waarlangs de

[6]) Het oplossen van de diverse constructieve problemen is het werk geweest van L. de Wit van de Hoofdindustriegroep Licht.

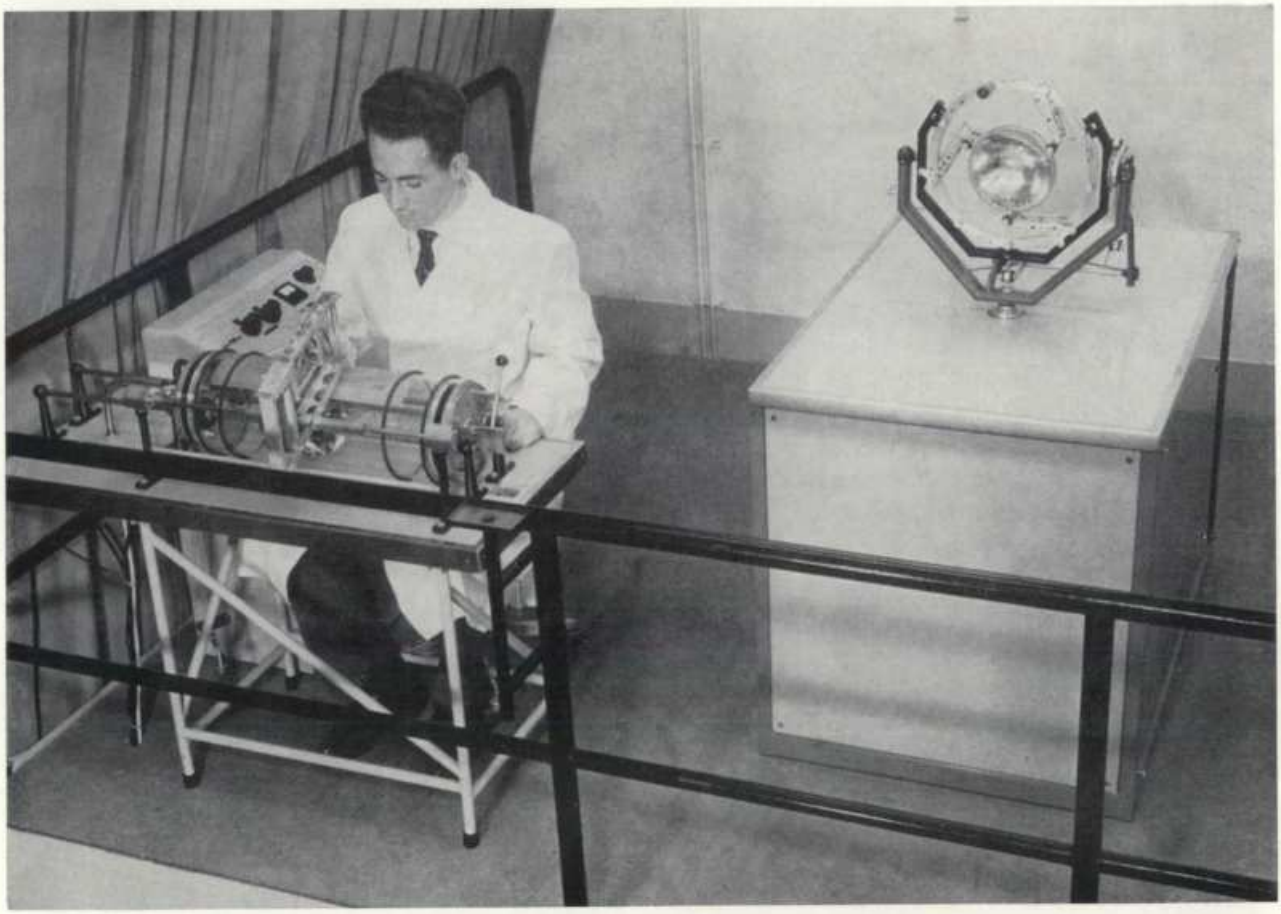


Fig. 8. Overzicht van het platform waarop het grootste deel van de isocandelaschrijver is opgesteld. Links ziet men een tafel waarop zich de trommel enz. bevindt — de trommel is het tot een cilinder opgerolde plateau T van fig. 3 —, daarachter de bedieningslessenaar. Rechts ziet men de lantaarnhouder; de bijbehorende besturingsmechanismen bevinden zich, tegen stof beschermd, in de kast. De fotocel is op 25 m afstand van de lantaarn opgesteld. Een groot deel van de elektronische schakelingen bevindt zich in een rek dat onder het platform is geplaatst.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

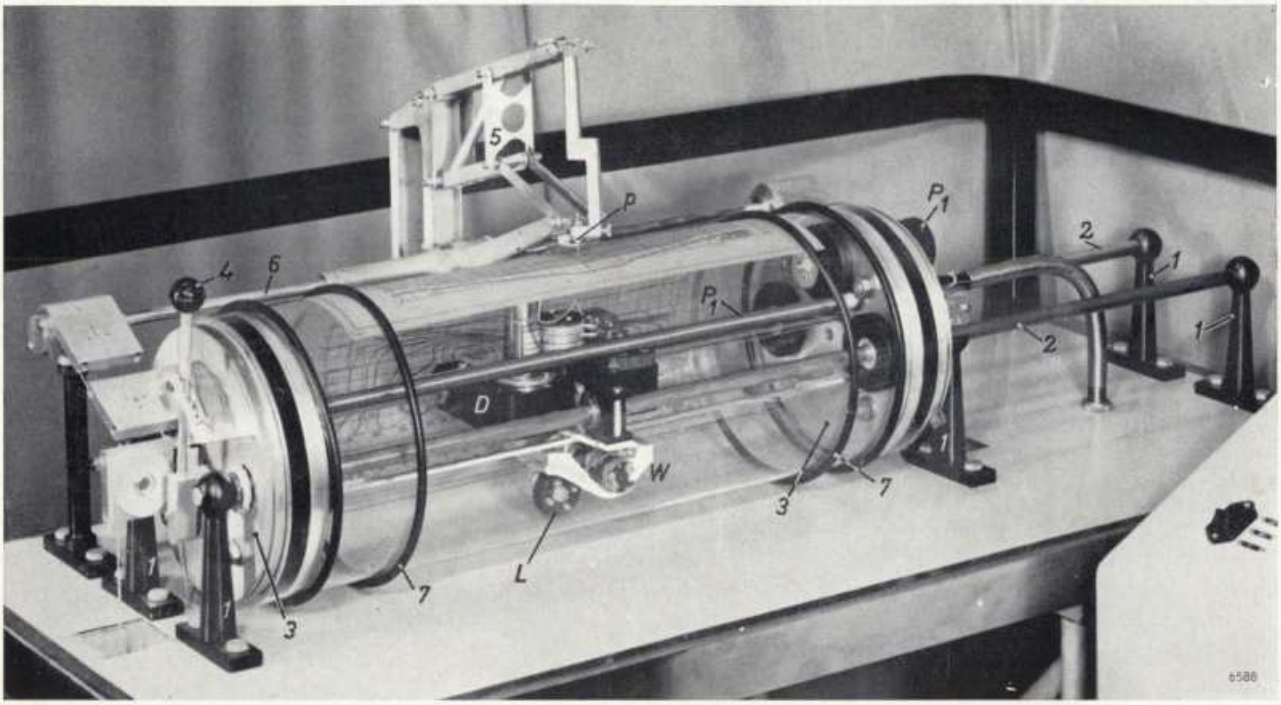


Fig. 9. De trommel. *1* vier steunen waarop de horizontale stangen *2* rusten die binnen de trommel als rechtgeleiding fungeren. *3* de beide vast op *2* bevestigde eindplaten, tevens legers voor de trommel. *W* is het gedeelte van de wagen dat zich aan het ondereinde van de stuuras bevindt. *D* drager; hierop bevinden zich de legers van de stuuras en de stuurmotor. *4* hendel waarmee het loopwieltje *L* van de wagen van de trommel kan worden gelicht. *5* houder van de pen *p* op rechtgeleiding *6* en door snaartjes verbonden met de wagen. *7* de beide gummiringen waarmee het registreerpapier op de buitenkant van de trommel geklemd wordt. P_1 positiepotentiometers die resp. de translatie van de wagen en de draaiing van de trommel volgen.

wagen zich kan bewegen. Het cilinderoppervlak van de trommel, dat van doorzichtige kunststof gemaakt is, draait om de zojuist genoemde vaste eindplaten. Ter wille van een goede legering is het voorzien van stalen eindringen.

De wagen bestaat uit twee delen. Het bovenste (*D*), de zg. drager, is uitgerust met een drietal kogelbussen voor de legering op de rechtgeleidingsstaven. Verder bevinden zich op de drager de stuurmotor, het leger van de stuuras en een tandwieloverbrenging tussen stuurmotor en stuuras (zie ook *fig. 10*). Het andere deel van de wagen (*W*) bevindt zich aan het ondereinde van de stuuras en bestaat uit een houder die het wieltje en de aandrijfmotor daarvan draagt.

Door middel van een hefboomstelsel is het mogelijk het wieltje van het cilinderoppervlak te lichten. Cilinder en wagen kunnen dan vrij ten opzichte van elkaar bewogen worden. Men bedient dit hefboomstelsel met de hendel *4*.

De houder *5* van de pen kan zich evenwijdig met de cilinderas langs de staaf *6* bewegen. Hij is door snaartjes verbonden met de wagen: als de wagen zich naar rechts beweegt, gaat de pen even ver naar links, en omgekeerd.

Het papier waarop de diagrammen getekend worden, kan met de rubberringen *7* op de buitenkant van de trommel geklemd worden.

De beide positiecoördinaten, te weten de draaiingshoek van de trommel en de plaats van de wagen op de rechtgeleiding, worden, zoals in de inleiding werd vermeld, langs elektrische weg overgebracht naar de lantaarn. De trommel is daartoe uitgerust met twee potentiometers (P_1 in fig. 9 en 10). De ene is een draaipotentiometer en is op de buitenkant van een der eindplaten gemonteerd. Hij wordt, via een tandwieloverbrenging, in beweging gebracht door de desbetreffende stalen eindring van de trommel, die daartoe aan de binnenkant van een vertanding is voorzien. De andere is op een staaf gewonden die zich in de trommel bevindt, en die, evenwijdig met de rechtgeleidingsstaven, is vastgemaakt aan de eindplaten. Het bijbehorende glijcontact is aan de wagen bevestigd.

De hier beschreven constructie van het registratiegedeelte van de isocandelaschrijver is om diverse redenen te prefereren boven een met een vlak plateau. In de eerste plaats zijn de afmetingen van het apparaat door het „oprollen" van het plateau aanmerkelijk gereduceerd. Dit is niet alleen een gevolg van het oprollen als zodanig, maar ook van het feit dat een plateau nog aanmerkelijk groter

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

zou moeten zijn dan de „afgerolde" trommel. Het wieltje mag nl., in verband met de kans op vlekken, niet over een reeds beschreven deel van het papier rollen. Bij de trommel is dit geen probleem omdat het papier en het wieltje zich daar aan verschillende kanten van de wand bevinden. In de tweede plaats biedt de trommelconstructie de mogelijkheid een deel van het mechanisme onder te brengen in een stofvrije ruimte. Met name is dit van belang voor het goed functioneren van de staafpotentiometer en voor de kogelrechtgeleidingen waarlangs de wagen zich beweegt.

De lantaarnhouder en de positievolgsystemen

De lantaarnhouder en de bijbehorende positievolgsystemen zijn gemonteerd op twee onderling loodrechte platen die stevig met elkaar verbonden zijn (*fig. 11*). De horizontale plaat draagt de lantaarnhouder, ieder der platen draagt een positievolgsysteem. Het geheel rust op een freem dat de vorm heeft van een tafel zonder blad, maar kan draaien om een denkbeeldige horizontale as door de lantaarn, loodrecht op de lijn lantaarn-fotocel. Hierdoor is het mogelijk de lantaarnhouder goed ten opzichte van de genoemde verbindingslijn in te stellen.

De constructie van de lantaarnhouder is als volgt (zie *fig. 12*). De lantaarn kan met behulp van een drietal zelfcentrerende klemmen worden vastgezet in een ring. Deze ring is gevat in een hoefijzervormige beugel. Door de ring ten opzichte van de beugel te draaien, kan men het bundelpatroon „horizontaal" stellen. Als de juiste instelling gevonden is, wordt de ring vergrendeld.

De beugel is op zijn beurt gelegerd in een gaffel. De lijn door beide legers loopt horizontaal en gaat door het hart van de lantaarn. De servomotor die ervoor zorgt dat de elevatie van de lamp overeenkomt met de draaiingshoek van de trommel, kan

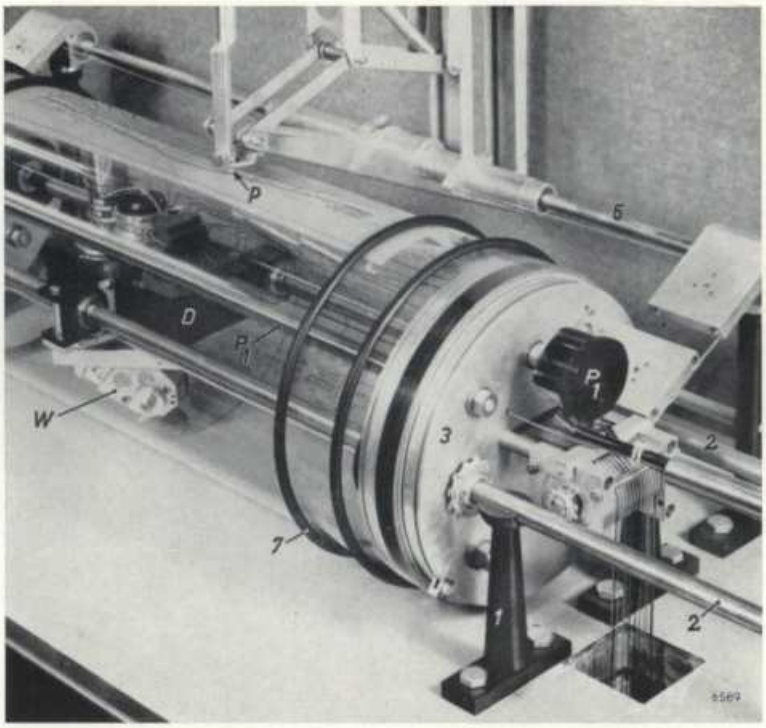


Fig. 10. De trommel, gezien van de zijde van de bedieningslessenaar. De letters en cijfers hebben dezelfde betekenis als in fig. 9. Rechts de toevoerleidingen van de wagen.

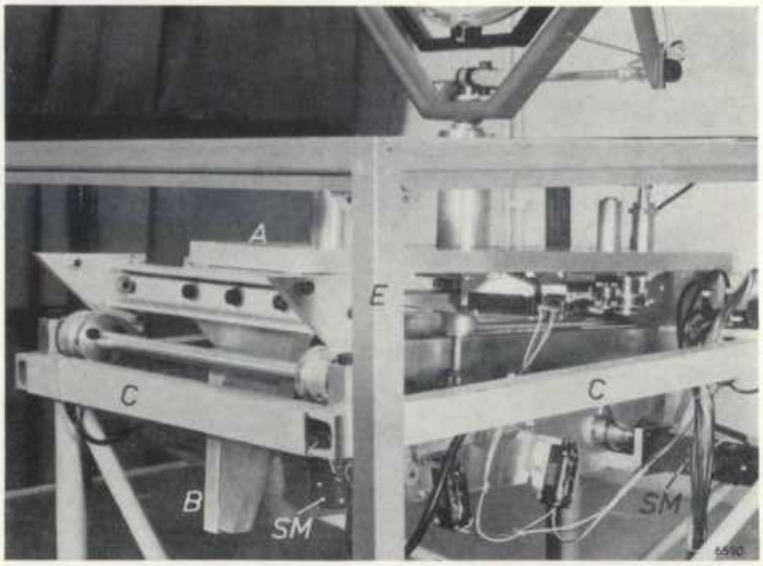


Fig. 11. Montage van de lantaarnhouder en de beide positievolgsystemen. *A* horizontale plaat die de lantaarnhouder en het azimutsysteem draagt. *B* stevig met *A* verbonden verticale plaat die het elevatiesysteem draagt. Het geheel kan ten opzichte van het freem *C* over een kleine hoek gedraaid worden. De lantaarn blijft daarbij op zijn plaats. *SM* positieservomotoren; de rechtermotor is die voor het elevatiesysteem. *E* freem voor stofkast.

de beugel in zijn legers doen draaien met behulp van een aantal stangen en hefbomen (zie *fig. 13*).

Dit overbrengingssysteem is zo ingericht dat een der stangen zich in de verticale hartlijn van de lantaarnhouder bevindt, en wel in een holte in de as van de gaffel. Deze stang, die bij verstelling van de lantaarn om de horizontale as een op en neer-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

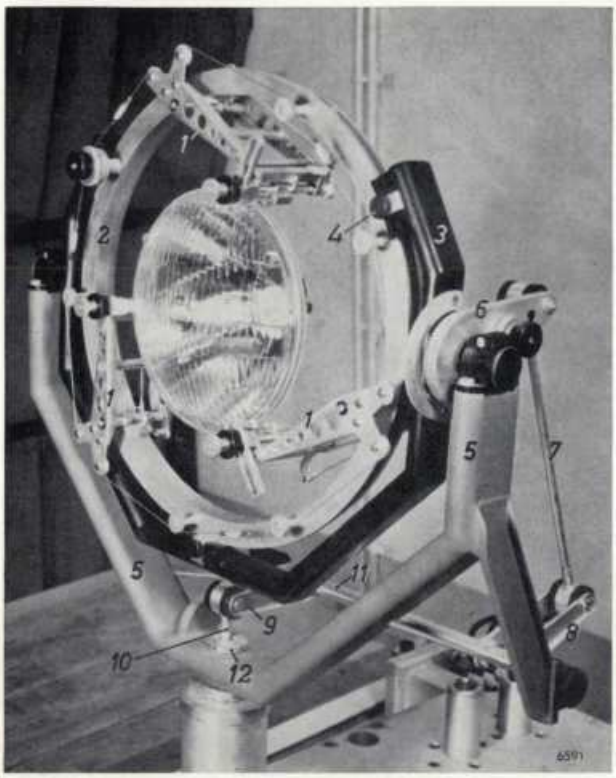


Fig. 12. De lantaarnhouder. *1* zelfcentrerende klemmen waarmee de lantaarn wordt vastgeklemd. *2* ring die kan draaien in de beugel *3*. Nadat de juiste stand gevonden is, kan de ring worden vastgezet met de schroeven *4*. *5* gaffel waarin *3* gelegerd is. *6* t/m *10* hefbomen en stangen die de beweging van de elevatie-servomotor overbrengen op de beugel enz. De hefbomen *8* en *9* zijn op de horizontale as *11* gemonteerd. De stang *10* loopt door de holle as *12* van de gaffel (vgl. fig. 13)

gaande beweging moet maken, is samengesteld uit twee in elkaars verlengde liggende delen die verbonden zijn door een koppeling. Deze koppeling laat draaiing van de beide delen ten opzichte van elkaar toe — en daarmee draaiing van de lantaarnhouder —, maar vormt een starre verbinding voor translatie.

Het ondereinde van de stang is scharnierend bevestigd aan een hefboom die aan de ene kant van zijn as de vorm heeft van een tandsector. Deze hefboom wordt via een tandwieloverbrenging in beweging gebracht door de genoemde servomotor.

Voor de variatie van het azimut van de lantaarn is een dergelijke ingewikkelde constructie niet nodig. Hier is een hefboom met tandsector direct op het ondereinde van de gaffel gemonteerd. Deze wordt door de azimut-servomotor op dezelfde wijze aangedreven als de andere.

De bij de azimut- en elevatie-instelling behorende positie-indicatoren (P_2 in fig. 3) zijn potentiometers, waarvan het beweegbare contact via een aparte overbrenging door de desbetreffende hefboom met tandsector wordt aangedreven.

De hefbomen hebben daartoe aan de andere zijde van hun as de vorm van een niet vertande sector, waarvan de beweging met behulp van een tweetal metalen bandjes wordt overgebracht op een trommel. Vanaf deze trommel volgt nog een zeer nauwkeurige tandwieloverbrenging naar de potentiometer (*fig. 14*).

Op deze wijze is met een minimum aan nauwkeurige tandwielen de vereiste nauwkeurige overbrenging tussen de elevatie- resp. azimut-as en de bijbehorende potentiometer gerealiseerd. Grote hoekgetrouwheid in deze overbrenging is noodzakelijk, omdat eventuele onnauwkeurigheden erin niet automatisch worden gecorrigeerd. Van de tandwielen aan de motorzijde wordt deze precisie niet geëist, omdat ze de positiegetrouwheid niet beïnvloeden.

De bedieningslessenaar

Zoals men in fig. 8 heeft kunnen zien, bevindt zich op het meetplatform, naast de tafel waarop de trommel is opgesteld, een bedieningslessenaar. Men vindt hierop de volgende onderdelen:

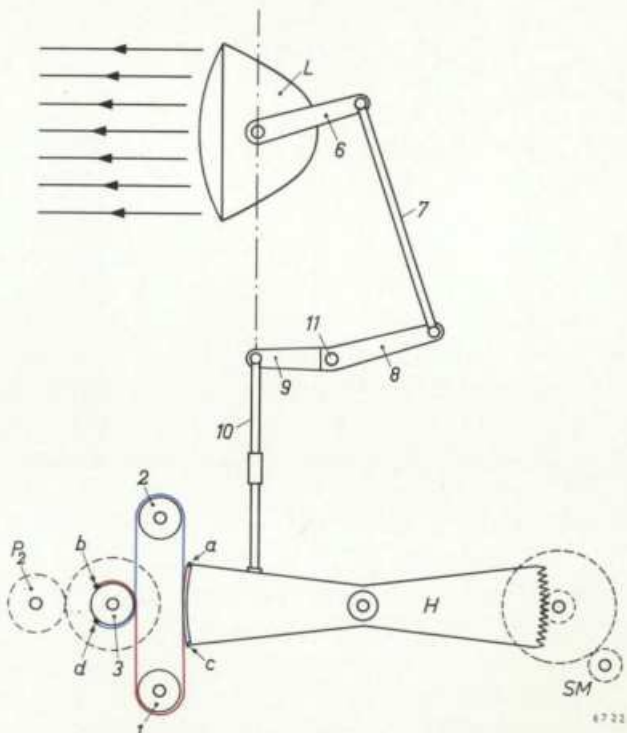


Fig. 13. Schematische voorstelling van de wijze waarop de beweging van de elevatieservomotor *SM* wordt overgebracht op de lantaarn. *L* lantaarn. *6*, *8* en *9* hefbomen. *7* en *10* stangen. *11* as waarop *8* en *9* zich bevinden (vgl. fig. 12). De stang *10* bestaat uit twee delen, die terwille van de azimutbeweging ten opzichte van elkaar om de gemeenschappelijke hartlijn kunnen draaien. *H* hefboom, rechts van de as bestaande uit een tandsector en links uit een niet-getande sector. De beweging van *H* wordt overgebracht op de positiepotentiometer P_2 door middel van *2* metalen bandjes. Het ene (rood) loopt van het punt *a* waar het aan de sector is vastgemaakt, over de rol *1* naar het punt *b* van de rol *3*. Het andere (blauw) loopt van *c* over *2* naar *d*. Op de as van *3* bevindt zich een tandwiel dat via een tweede tandwiel de as van de potentiometer P_2 kan doen draaien.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

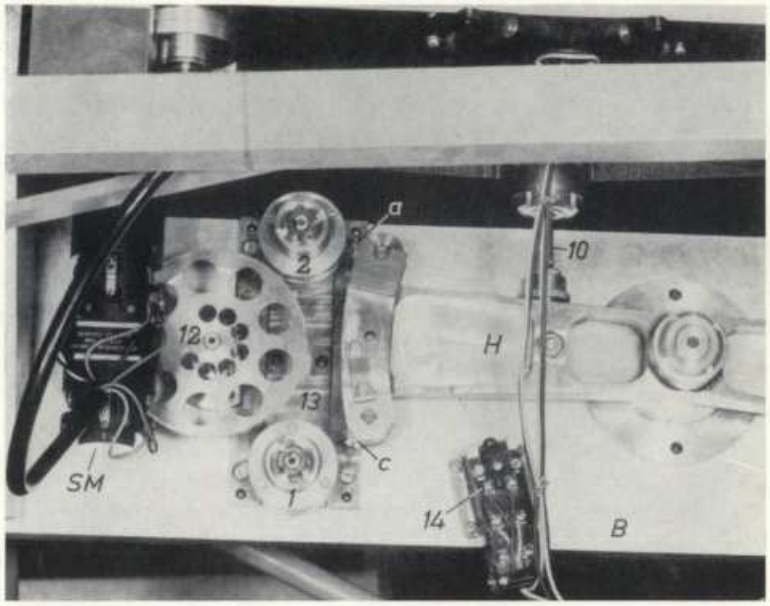


Fig. 14. Overbrenging van de elevatie-coördinaat op de desbetreffende positie-potentiometer. De letters en cijfers hebben dezelfde betekenis als in fig. 13. Het wiel *3* uit die figuur bevindt zich achter het grote tandwiel *12*. De wielen *1* en *2* zijn niet op de verticale plaat *B* gemonteerd (vgl. fig. 11) maar op de messingstrip *13*, die slechts in het midden op *B* is vastgeschroefd. Door geschikte keus van materialen en afmetingen is voorkomen dat bij temperatuurverandering het bandje te veel of te weinig gespannen wordt. Als *H* over een te grote hoek verdraaid dreigt te worden, schakelt de eindschakelaar *14* de elevatie-servomotor uit. *SM* is de azimutservomotor.

a) De hoofdschakelaar, en de schakelaars voor de voeding van de positieservomotoren en van het aandrijfmotortje (in fig. 3 resp. SM en M_1).

b) Keuzeschakelaars voor het instellen van de referentiespanning E_r, dus van de gewenste luxwaarde.

c) Potentiometers waarmee de instelling van de lantaarnhouder in beide coördinaatrichtingen binnen een klein gebied kan worden gewijzigd, zonder dat de positie van de meetwagen ten opzichte van de registreertrommel wordt veranderd.

Staat de schrijfstift op het registratiepapier in het nulpunt van het coördinatensysteem, dan kan men met behulp van deze potentiometers de asrichting van de bundel laten samenvallen met de verbindingslijn tussen fotocel en lantaarn.

d) Een schakelaar waarmee men het nulpunt van de elevatiecoördinaat over een vast bedrag kan laten opschuiven, zodat de lichtverdelingsdiagrammen van de dimbundel en van de hoofdbundel van een autokoplantaarn op één vel registratiepapier onder elkaar kunnen worden geregistreerd, zonder dat de lantaarn opnieuw moet worden ingesteld.

e) Een galvanometer waarmee men, alvorens een isoluxlijn te registreren, controleert of de verlichtingssterkte op de fotocel ongeveer overeenkomt met de waarde waarvoor de lijn moet gelden. Het meetwagentje en de trommel — en dus ook de hiermee gekoppelde lantaarn — moeten zodanig worden ingesteld dat aan deze voorwaarde is voldaan. Is de afwijking te groot, dan zoekt het apparaat niet automatisch de gezochte isoluxlijn op.

f) Potentiometers waarmee de versterking in de regelkring en de demping kunnen worden gevarieerd. Deze variatiemogelijkheid wordt vereist wegens het reeds hierboven vermelde feit dat de overbrengingsverhouding de factor $R_p(E)$ bevat, die voor iedere isoluxlijn een andere waarde heeft. Ook zonder dit zou een instellingsmogelijkheid van de versterking wenselijk zijn met het oog op de beschreven automatische compensatie van de variaties van K_E: deze wordt zo effectief mogelijk indien men het gebied waarbinnen de versterking zich beweegt, een bepaalde ligging tussen de minimaal en de maximaal toegelaten versterking geeft.

De overbrengingsverhouding van de kring, afgeleid uit die van de elementen

De rest van dit artikel zal nu gewijd zijn aan een regeltechnische behandeling van de diverse elementen waaruit de isocandelaschrijver, als regelkring beschouwd, is samengesteld. Achtereenvolgens zullen daarbij de revue passeren (vgl. fig. 3 en 4):

1) De fotocel met de bijbehorende schakeling (inclusief de schakeling waarin het uitgangssignaal wordt vergeleken met het referentiesignaal).
2) De versterker (A_2) en de stuurmotor M_2.
3) De aandrijving van de trommel door het wieltje van de wagen.
4) De positievolgsystemen.
5) De lantaarn (bundelpatroon).

Daarna zullen we de formule voor de overbrengingsverhouding samenstellen uit die van de genoemde delen en plausibel maken dat het voor de stabiliteitsbeschouwing toelaatbaar is, die te vereenvoudigen tot de in formule (1) gegeven vorm.

Bij het afleiden van de overbrengingsverhouding van de diverse onderdelen beschouwen we deze als lineaire elementen, hoewel enkele dat hoegenaamd niet zijn. Voor de frequenties en amplitudes die in de kring optreden wanneer het apparaat bezig is een isocandelakromme te registreren, is deze benadering echter geheel gerechtvaardigd.

Fotocel en bijbehorende schakeling

De fotocel die in de isocandelaschrijver gebruikt wordt, is een seleniumkeerlaagcel. De spectrale gevoeligheid ervan is

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

met behulp van filters gelijk gemaakt aan die van het menselijk oog. Men kan dus van lichtsoort veranderen zonder dat voor het vinden van de juiste luxwaarde een aparte ijking nodig is. Een nadeel van keerlaagcellen is dat ze vrij ongevoelig zijn (de gevoeligheid van de hier gebruikte cel is ca. 0,5 μA/lux), zodat een aanzienlijke versterking noodzakelijk is.

Fig. 15 geeft schematisch de schakeling. Binnen de streeplijnenrechthoek vindt men het elektrisch vervangingsschema van de cel. Dit bevat een stroombron, een capaciteit C die de

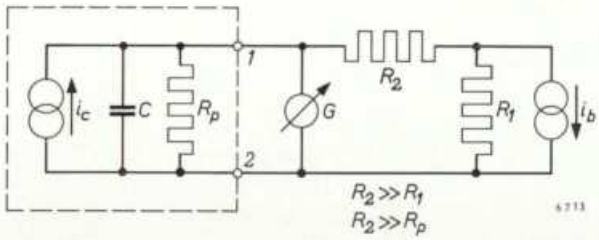


Fig. 15. Elektrisch vervangingsschema (binnen de streeplijnenrechthoek) en schakeling van de fotocel (compensatieschakeling). i_c fotostroom. C inwendige capaciteit en R_p inwendige lekweerstand van de fotocel. i_b compensatiestroom, R_1 en R_2 weerstanden. G galvanometer. De stroom i_b wordt op een zodanige waarde ingesteld dat de spanning tussen de klemmen *1* en *2* van de fotocel nul is.

capaciteit van de keerlaag representeert, en parallel daarmee een weerstand R_p, de inwendige „lekweerstand" van de cel. De stroom i_c die door de genoemde stroombron geleverd wordt, is evenredig met de verlichtingssterkte E. Daar de waarde van de weerstand R_p niet constant is — deze neemt af met toenemende verlichtingssterkte —, is in het algemeen noch de stroom in een uitwendige keten noch de klemspanning evenredig met E (zie *fig. 16*). Wil men deze invloed van R_p elimineren, dan moet men ervoor zorgen dat de genoemde klem-

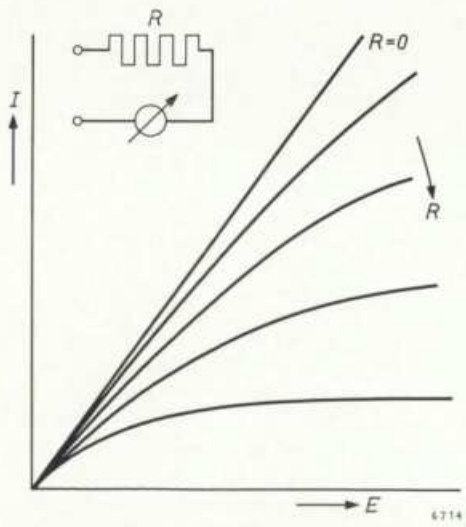


Fig. 16. De stroom I in de uitwendige keten van een keerlaagfotocel (fotospanningscel) als functie van de verlichtingssterkte E bij diverse waarden van de weerstand R in die keten. Is deze weerstand nul, dan is I gelijk aan de fotostroom i_b (vgl. fig. 15) en evenredig met E. De afwijking van de lineariteit is des te sterker naarmate R groter is. De kromme die voor zeer grote R geldt, heeft uiteraard nagenoeg dezelfde vorm als de E-V-karakteristiek (V is de klemspanning bij open keten).

spanning nul wordt. De cel is daartoe opgenomen in een compensatieschakeling. Deze bestaat uit de stroombron i_b en de weerstanden R_1 en R_2. G is het nulinstrument. Indien de waarde van i_b zo is ingesteld dat de spanning tussen de klemmen *1* en *2* van de fotocel nul is, geldt:

$$i_c = \frac{R_1}{R_1 + R_2} i_b. \quad \ldots\ldots (2)$$

Kiest men $R_2 \gg R_1$, dan is $i_b \gg i_c$ en heeft i_b een zo grote waarde dat meting gemakkelijk is. Tevens is i_b evenredig met E.

De stroom i_b leent er zich ook uitstekend voor om als referentiegrootheid gebruikt te worden; de compensatieschakeling fungeert dus in de regelkring tegelijk als verschilschakeling. Verder hangt de stroom i_c nagenoeg niet af van de temperatuur, zodat men niet het gevaar loopt dat bij verandering van de kamertemperatuur het referentiesignaal niet meer met de gewenste verlichtingssterkte zou corresponderen. (Bij zeer kleine verlichtingssterkten geldt dit niet omdat daar de, sterk van de temperatuur afhangende, donkerstroom een niet te verwaarlozen fractie van de totale stroom uitmaakt.)

Voor het afleiden van de overbrengingsverhouding K_1G_1 van fotocel plus verschilschakeling dienen we thans na te gaan hoe het uitgangssignaal ε van de verschilschakeling (vgl. fig. 4) — dit is dus de spanning die bij een afwijkende verlichtingssterkte optreedt tussen de klemmen van de fotocel — afhangt van het (kleine) verschil ΔE tussen de werkelijke verlichtingssterkte en die welke met de ingestelde waarde van i_b overeenkomt. We kunnen hierbij direct $G_1 = 1$ stellen: de frequentieafhankelijkheid van de fotocel (karakteristieke tijd R_pC) speelt bij de lage frequenties waarmee we hier te maken hebben geen rol van betekenis. Zij dan Δi_c de met ΔE overeenkomende verandering van i_c, dan is:

$$\varepsilon = \frac{(R_1 + R_2)R_p}{R_p + R_1 + R_2} \Delta i_c. \quad \ldots\ldots (3)$$

Daar R_2 niet alleen groot is ten opzichte van R_1 maar ook ten opzichte van R_p, mag men het rechterlid benaderen door $R_p\Delta i_c$. De gezochte overbrengingsverhouding $(\varepsilon/\Delta i_c)_{\omega=0}$ is dus niet constant maar hangt af van de verlichtingssterkte als E toeneemt van 0,25 lux tot 40 lux, wordt K_1 een factor 2 kleiner.

Aan de hand van de V-I-karakteristieken van de fotocel die men in *fig. 17* schematisch vindt weergegeven, willen we de eigenschappen van de gebruikte compensatieschakeling (fig. 15) nog wat verder analyseren. Zoals men ziet, lopen de V-I-krommen — iedere kromme geldt voor één waarde van de verlichtingssterkte — in drie kwadranten. Wordt de fotocel zonder uitwendige spanningsbron gebruikt, dan bevindt het instelpunt zich in het vierde kwadrant (rechts onder). Wordt de fotocel, zoals in ons geval, gebruikt in een compensatieschakeling met hulpspanning V_1 — dit is de spanning die door de stroom i_b veroorzaakt wordt over de weerstand R_1 —, dan vinden wij bij een verlichtingssterkte E_1 het werkpunt door het snijpunt op te zoeken van de werklijn en de kromme die voor deze verlichtingssterkte geldt. De werklijn is hier de rechte door het punt $(-V_1, 0)$ die de (negatieve) I-as snijdt onder de hoek $\alpha = \text{arc tg}\,(R_1 + R_2)$. Als E_0 en de stroom i_b met elkaar corresponderen, valt dit werkpunt juist op de negatieve I-as (punt A).

Treedt er nu een kleine verandering $-\Delta E$ op in de verlichtingssterkte, dan wordt het nieuwe werkpunt gevonden als snijpunt van dezelfde werklijn met de karakteristiek voor $E_0 - \Delta E$. De klemspanning ε over de fotocel die nu optreedt, is de abscis van het nieuwe werkpunt. Om bij een gegeven verandering ΔE van de verlichtingssterkte een zo groot mogelijke

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

spanning ε te krijgen, is het gunstig R_2 groot te kiezen; de hoek α wordt dan immers groot.

Ten slotte kan men uit fig. 17 aflezen dat, bij gegeven helling van de werklijn, de verhouding $\varepsilon/\Delta E$ bij de hier toegepaste compensatiemethode aanmerkelijk groter is dan bij toepassing van een methode waarbij de door de cel geleverde stroom gelijk nul gemaakt zou worden. In het laatste geval zou (voor E_0) het werkpunt niet in A liggen maar op de positieve V-as in B. Hier liggen de krommen veel dichter bij elkaar en levert de verandering ΔE van de verlichtingssterkte dus slechts een kleine verandering van de klemspanning op.

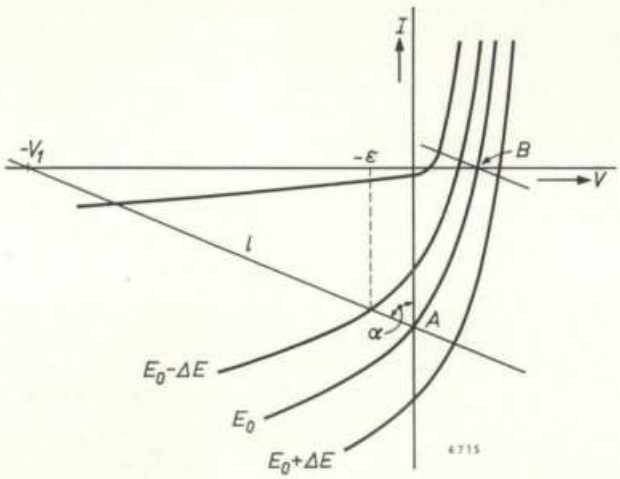


Fig. 17. Stroom-spanningskarakteristieken van keerlaagfotocel in een schakeling als van fig. 15. V_1 is de spanning die de hulpstroom i_h veroorzaakt over de weerstand R_1. Correspondeert i_h met de verlichtingssterkte E_0, dan ligt het snijpunt A van de werklijn l met de desbetreffende karakteristiek juist op de I-as en is de klemspanning nul. Neemt de verlichtingssterkte met een bedrag ΔE af, dan treedt een klemspanning $-\varepsilon$ op. De hoek α tussen de werklijn en de I-as wordt bepaald door de waarde van $(R_1 + R_2)$. Past men stroom compensatie toe (werklijn door B), dan is de verhouding $\varepsilon/\Delta E$ aanmerkelijk kleiner.

De versterker A_1 en de stuurmotor

De spanning ε, die aan de klemmen van de fotocel optreedt wanneer de verlichtingssterkte afwijkt van de waarde die overeenkomt met het referentiesignaal, wordt, zoals we in fig. 3 gezien hebben, aanmerkelijk versterkt om er de stuurmotor mee te kunnen voeden. Ten einde de invloed van stoorsignalen zo veel mogelijk te beperken, is de versterker ontworpen als verschilversterker met een hoge rejectiefactor [7]). Voor alle in aanmerking komende frequenties en amplitudes heeft de versterkingsfactor van deze versterker dezelfde waarde. Tot de overbrengingsverhouding K_2G_2 van het deel van de isocandelaschrijver dat we thans bespreken, draagt de versterker dus alleen een constante factor bij. We noemen deze factor K_A.

Terloops zij nog opgemerkt dat het signaal ε niet rechtstreeks aan A_1 wordt toegevoerd, maar, ten einde de invloed van drift te elimineren, eerst door een triller (frequentie 400 Hz) wordt omgezet in een kanteelspanning. De versterker levert dus een wisselspanning af aan de stuurmotor. Deze motor is een tweefazige asynchrone draaistroommotor en heeft dus twee wikkelingen, die een halve poolsteek ten opzichte van elkaar verschoven zijn. Het uitgangssignaal van A_1 voedt de ene wikkeling. De andere wordt gevoed met een constante wisselspanning, eveneens van 400 Hz, die in faze 90° ten opzichte van het genoemde uitgangssignaal verschilt. Door deze wijze van voeden is het koppel op de rotor evenredig met ε. In fig. 3 is dit alles ter wille van de eenvoud weggelaten.

De overbrengingsverhouding van de stuurservomotor zullen we thans afleiden uit de vergelijking die het gedrag van deze motor beschrijft. Het koppel T dat door de motor geleverd wordt, hangt zowel af van de voedingsspanning V_m als van het toerental (de hoeksnelheid Ω van de as). In eerste benadering geldt dus:

$$T(V_m,\Omega) = \left(\frac{\partial T}{\partial V_m}\right)_\Omega V_m + \left(\frac{\partial T}{\partial \Omega}\right)_{V_m} \Omega_m . \quad . \quad (4)$$

De waarde van het differentiaalquotiënt $\partial T/\partial V_m$ voor het geval $\Omega = 0$, is de zg. koppelconstante K_m. Het differentiaalquotiënt $\partial T/\partial\Omega$ is bij servomotoren negatief: bij toenemend toerental neemt het koppel af op een wijze die formeel overeenkomt met de demping veroorzaakt door een viskeuze vloeistof (tegenwerkend koppel evenredig met Ω). De negatieve waarde van $dT/d\Omega$ in het geval $V_m = 0$, draagt daarom de naam dempingscoëfficiënt en wordt aangeduid met het symbool f_m. Stelt men nu het totale (massa-) traagheidsmoment om de motoras J_1 en de totale viskeuze demping f_1 (beide van motor en belasting samen dus), dan geldt:

$$K_m V_m - f_1\Omega = J_1\, d\Omega/dt . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

Vervangen we hierin de grootheden V_m en Ω op de in de regeltechniek gebruikelijke wijze door de daaraan toegevoegde complexe grootheden $\overline{V}_m$ en $\overline{\Omega}$ [8]), dan gaat (5) over in:

$$K_m\overline{V}_m - f_1\overline{\Omega} = J_1\, j\omega\overline{\Omega} ,$$

waaruit voor de overbrengingsverhouding van de motor volgt:

$$\frac{\overline{\Omega}}{\overline{V}_m} = \frac{K_m}{f_1 + J_1 j\omega} = \frac{K'}{1 + j\omega\tau_1} , \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

waarin $\tau_1 = J_1/f_1$ en $K' = K_m/f_1$.

Met het afleiden van deze formule hebben we ons doel echter nog niet geheel bereikt. Ten einde de demping op een geschikte waarde te kunnen instellen, is de motoras gekoppeld met die van een tachogenerator, d.i. een dynamo waarvan de uitgangsspanning evenredig is met het toerental. Deze uitgangsspanning wordt, eventueel na versterkt te zijn, naar de klemmen van de motor teruggevoerd. Hierdoor treedt een tegenwerkend koppel op dat evenredig is met het toerental zodat we ook hier van een viskeuze demping kunnen spreken. De overbrengingsverhouding van de tachogenerator is eenvoudig gelijk aan de constante verhouding K_t tussen de (versterkte) afgegeven spanning en Ω (*fig. 18*). De overbrengingsverhouding

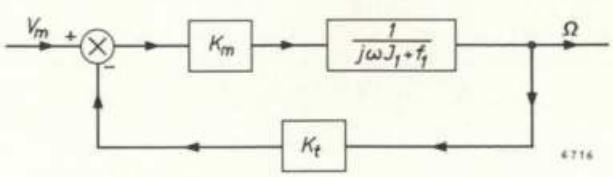


Fig. 18. Blokschema van de stuurmotor met tachogeneratorterugkoppeling. V_m voedingsspanning van de motor. Ω hoeksnelheid van de motoras, K_m koppelconstante van de motor, f_1 totale viskeuze demping. J_1 (massa)traagheidsmoment van motor plus belasting, K_t verhouding tussen Ω en de door de tachogenerator afgegeven spanning.

[7]) Zie b.v. G. Klein en J. J. Zaalberg van Zelst, Algemene beschouwingen over verschilversterkers, Philips techn. T. **22**, 366-373, 1960.

[8]) Zie hiervoor b.v. M. van Tol, Philips techn. T. **23**, 1961, no. 3, blz. 79 en 82.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

van de combinatie motor-tachogenerator wordt derhalve:

$$\frac{\bar{\Omega}}{\bar{V}_m} = \frac{K'/(1 + j\omega\tau_1)}{1 + K'K_t/(1 + j\omega\tau_1)}. \quad . . . . \quad (7)$$

Herleiding hiervan en toevoegen van de factor K_A, de overbrengingsverhouding van de versterker A_1, leidt tot:

$$K_2G_2(j\omega) = \frac{K_2}{1 + j\omega\tau_2}. \quad . . . . . \quad (8)$$

Hierin is $\tau_2 = \tau_1/(1 + K'K_t)$ en $K_2 = K_AK'/(1 + K'K_t) \approx 1/K_t$. De eigenschappen van elementen met overbrengingsverhouding van de vorm $K/(1 + j\omega\tau)$ zijn in de in [4]) aangehaalde artikelen uitvoerig besproken.

De aandrijving van de trommel

Thans zullen we nagaan hoe de positie van de stuuras ten opzichte van het oppervlak van de trommel — gemakshalve mogen we daarbij evengoed denken aan het plateau van fig. 3 — zich wijzigt als deze as over een hoek Θ_s verdraaid wordt. We zullen deze positie karakteriseren door de afstand x van de as tot de oorspronkelijke koerslijn. Deze afstand bestaat uit twee componenten. In de eerste plaats is er een component x_1 waarvan de tijdsafgeleide evenredig is met de snelheid v waarmee het wieltje over het oppervlak rolt en met de sinus van de hoek Θ_s tussen de oude en de nieuwe koerslijn. Voor kleine waarden van Θ_s mag hiervoor worden geschreven:

$$\frac{dx_1}{dt} = v\Theta_s. \quad . . . . . \quad (9)$$

De tweede component ontstaat door het reeds vermelde feit dat het wieltje de trommel niet in het verlengde van de stuuras raakt maar op een afstand a daarachter. Een verdraaiing Θ_s van de stuuras veroorzaakt in de x-richting tevens een verschuiving x_2 ter grootte $a \sin \Theta_s$ (zie *fig. 19*). Voor kleine Θ_s geldt dus $x_2 = a\Theta_s$. De verplaatsing $a(1 - \cos \Theta_s)$ in de richting loodrecht op x mag men voor kleine Θ_s verwaarlozen.

De vergelijking die het verband geeft tussen $x (= x_1 + x_2)$ en Θ_s, luidt dus:

$$\frac{dx}{dt} = v\Theta_s + a\frac{d\Theta_s}{dt}. \quad . . . . . \quad (10)$$

De vergelijking voor het verband tussen de aan x en Θ_s toegevoegde complexe grootheden is dus

$$j\omega\,\bar{x} = v\bar{\Theta}_s + a\,j\omega\,\bar{\Theta}_s, \quad . . . . . \quad (11)$$

zodat

$$\frac{\bar{x}}{\bar{\Theta}_s} = \frac{v + j\omega\,a}{j\omega} = v\tau_0\,\frac{1 + j\omega\,\tau_3}{j\omega\,\tau_0}. \quad . . . \quad (12)$$

Hierin is $\tau_3 = a/v$ (vgl. blz. 265) en τ_0 weer de eenheid van tijd.

De overbrengingsverhouding K_3G_3 van het onderhavige deel van de isocandelaschrijver is hiermee echter nog niet gevonden. We moeten x niet betrekken op de stand van de stuuras, maar op de hoeksnelheid Ω van de as van de stuurmotor (zie verg. 7). Dit betekent allereerst dat we Θ_s hebben te vervangen door $d\Theta_s/dt$ en dus in (12) de grootheid $\bar{\Theta}_s$ door $j\omega\bar{\Theta}_s$, en verder dat de verhouding n_1 van de tandwieloverbrenging tussen de beide assen in rekening moet worden gebracht. We vinden dan:

$$K_3G_3(j\omega) = \frac{v\tau_0^2}{n_1}\,\frac{1 + j\omega\tau_3}{(j\omega\,\tau_0)^2}. \quad . . . . \quad (13)$$

Fig. 20 toont het door rechten benaderde Bode-diagram. Zoals men ziet, bestaat dit uit twee delen met resp. de hellingscoëfficiënten −2 en −1. Het knikpunt ligt bij de frequentie $\omega_3 = 1/\tau_3$. De fazedraaiing bij deze frequentie is −135°. Daar $\omega_3 = v/a$ is, kan men het knikpunt dus naar een lagere

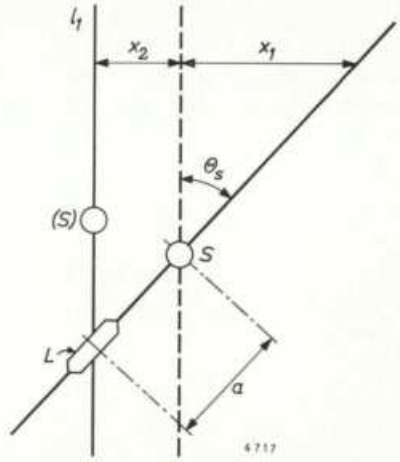


Fig. 19. Het loopwieltje L raakt de trommel niet in het verlengde van de stuuras S, maar een eind a daarachter. Bij draaiing van S over de hoek Θ_s ontstaat dientengevolge een afstand tussen de as en de oude koerslijn l_1 die niet alleen bestaat uit een evenredig met de tijd toenemend gedeelte x_1, maar bovendien uit een constant stuk x_2 ter grootte $a \sin \Theta_s$.

frequentie verschuiven door de afstand a te vergroten of door de snelheid v van het wieltje te verkleinen. Uit (12) kan men afleiden dat het knikpunt zich bij variatie van v langs de rechte met helling −1 beweegt, bij variatie van a langs die met helling −2.

De positievolgsystemen

Het, regeltechnisch gesproken, meest gecompliceerde deel van de isocandelaschrijver wordt gevormd door de beide posi-

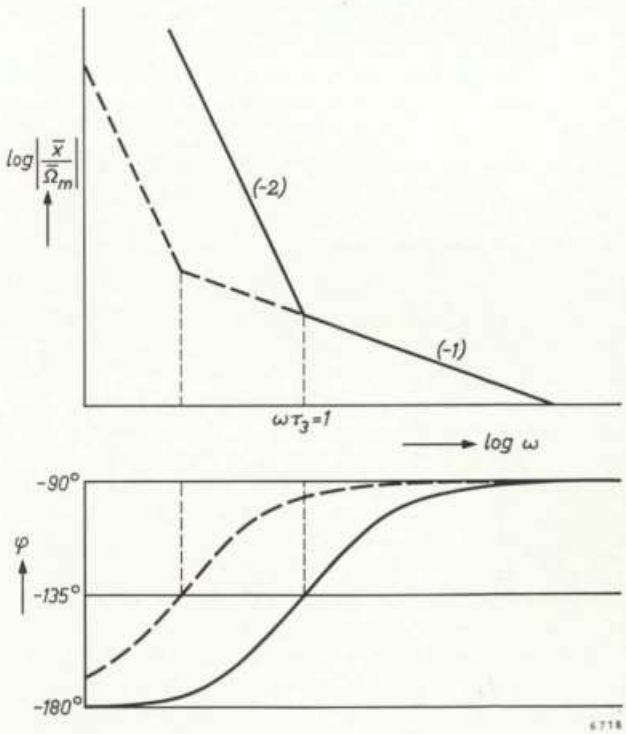


Fig. 20. Bode-diagram van de overbrengingsverhouding die het verband beschrijft tussen de hoeksnelheid $\bar{\Omega}_m$ van de as van de stuurmotor en de positieverandering $\bar{x}$ van de stuuras ten opzichte van de trommel (verg. 13). De amplitude-karakteristiek kan men benaderen door twee rechten, met helling −2 en −1, die elkaar snijden bij de frequentie $\omega_3 = 1/\tau_3$ $(= v/a)$. De streeplijnen gelden voor een kleinere waarde van v. Zoals men ziet, beweegt het knikpunt zich bij variatie van v langs de rechte met helling −1.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

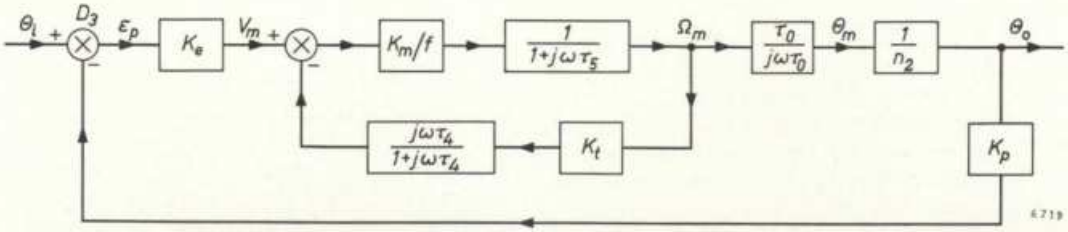


Fig. 21. Blokschema van elk der servomechanismen („elektrische assen") die de positieveranderingen van de trommel overbrengen op de lantaarn (vgl. fig. 3). Θ_i elektrisch ingangssignaal dat correspondeert met de desbetreffende coördinaat van de trommel. Θ_o uitgangssignaal, een der coördinaten van de lantaarn. K_p overbrengingsverhouding van de positieopnemer P_2. D_3 verschilschakeling . ε_p verschilsignaal. K_e versterkingsfactor van de versterker A_2. V_m voedingsspanning van de servomotor. K_m, f, J, K_t en Ω_m hebben (afgezien van indices) dezelfde betekenis als in fig. 18 maar hebben thans dus betrekking op de servomotor. Voor τ_5 zie verg. (14). n_2 verhouding tussen de draaiing van de as van de servomotor en de draaiing van de lantaarn. τ_4 tijdconstante van hoog doorlatend filter in de binnenlus (tachogenerator-terugkoppeling).

tievolgsystemen („elektrische assen") die de bewegingen van de trommel overbrengen op de lantaarn. Daar ze nagenoeg identiek zijn, kunnen we volstaan met de bespreking van één ervan en is het ook toelaatbaar om bij het opstellen van de overbrengingsverhouding van het gehele apparaat te doen alsof er maar één positievolgsysteem was.

Een blokschema van een der positievolgsystemen vindt men in *fig. 21*. Men ziet dat er, behalve de terugkoppeling van uitgang naar ingang, die eerst mogelijk maakt dat de uitgangsgrootheid de ingangsgrootheid getrouw volgt, ook nog een binnenlus is. Deze lus heeft betrekking op de servomotor (*SM* in fig. 3), die, evenals de stuurmotor, voorzien is van een tachogenerator-terugkoppeling (vgl. fig. 18). Hier echter wordt de uitgangsspanning van de tachogenerator niet direct teruggevoerd naar de motor, maar passeert eerst een hoog doorlatend filter. De overbrengingsverhouding hiervan is $j\omega\tau_4/(1+j\omega\tau_4)$, waarin τ_4 gelijk is aan het produkt van de weerstand en de capaciteit die de hoofdbestanddelen van de genoemde schakeling zijn. De betekenis van de aanwezigheid van dit filter zal aanstonds duidelijk worden wanneer we de overbrengingsverhouding van de volledige open keten hebben afgeleid.

Op dezelfde wijze als waarop we eerder de overbrengingsverhouding van de gesloten stuurmotorketen (7) vonden uit die van de open keten (6), vinden we voor de overbrengingsverhouding $\bar{\Omega}_m/\bar{V}_m$ van de gesloten binnenketen:

$$\frac{\bar{\Omega}_m}{\bar{V}_m} = \frac{K_m}{f}\,\frac{1+j\omega\tau_4}{1+j\omega(\tau_4+\tau_5+K''\tau_4)-\omega^2\tau_4\tau_5}, \qquad (14)$$

waarin $\tau_5 = J/f$ is en K'' de kringversterking K_mK_t/f in de binnenlus.

De overbrengingsverhouding van de open keten van het gehele positievolgsysteem wordt dus:

$$\frac{K_p\bar{\Theta}_o}{\bar{\varepsilon}_p} = \frac{K_pK_mK_e\tau_0}{n_2 f}\,\frac{1+j\omega\tau_4}{j\omega\tau_0\{1+j\omega(\tau_4+\tau_5+K''\tau_4)-\omega^2\tau_4\tau_5\}}. \qquad (15)$$

Daar K'' groot gekozen is, geldt in de discriminant van de kwadratische vorm die in de noemer van (15) optreedt:

$$(\tau_4+\tau_5+K''\tau_4)^2 \gg 4\tau_4\tau_5 .$$

Men kan deze vorm derhalve met goede benadering ontbinden in de factoren $(1+j\omega K''\tau_4)$ en $(1+j\omega\tau_5/K'')$, zodat men kan schrijven:

$$\frac{K_p\bar{\Theta}_o}{\bar{\varepsilon}_p} = K'''\tau_0\,\frac{1+j\omega\tau_4}{j\omega\tau_0(1+j\omega K''\tau_4)(1+j\omega\tau_5/K'')}, \qquad (16)$$

waarin $K''' = K_pK_mK_e/n_2f$. Het door rechten benaderde Bode-diagram vindt men in *fig. 22*. De helling van de rechten is resp. -1, -2, -1 en weer -2. De knikpunten liggen bij de frequenties waarvoor geldt: $\omega K''\tau_4 = 1$, $\omega\tau_4 = 1$ en $\omega\tau_5 = K''$. Kiest men de versterking zodanig dat deze de waarde één heeft bij een frequentie ω_0, gelegen tussen de twee laatstgenoemde knikpunten, dan is de fazemarge $\geqq 45°$ en is de gesloten kring dus voldoende stabiel.

Men ziet in fig. 22 duidelijk welke de betekenis is van het zojuist genoemde filter in de tachogenerator-terugkoppeling. Zonder dit filter zou het Bode-diagram de vorm hebben van de streeplijnen (plus de daarop aansluitende getrokken lijnen). Voor de hoge frequenties verandert het filter de karakteristieken blijkbaar niet, maar bij lage frequenties wordt de versterking aanmerkelijk groter. Het waarom hiervan kan men aflezen uit het blokschema: voor hoge frequenties kan het filter beschouwd worden als niet aanwezig, d.w.z. als een gesloten schakelaar, en voor lage frequenties als een geopende schakelaar. In het laatste geval is de terugkoppeling dus opgeheven en is de verhouding $\bar{\Omega}_m/\bar{V}_m$ uiteraard groter.

Door het opnemen van het hoog doorlatende filter in de binnenlus is dus voor de lage frequenties de waarde van de overbrengingsverhouding $K_p\bar{\Theta}_o/\bar{\varepsilon}_p$ van de open keten vergroot

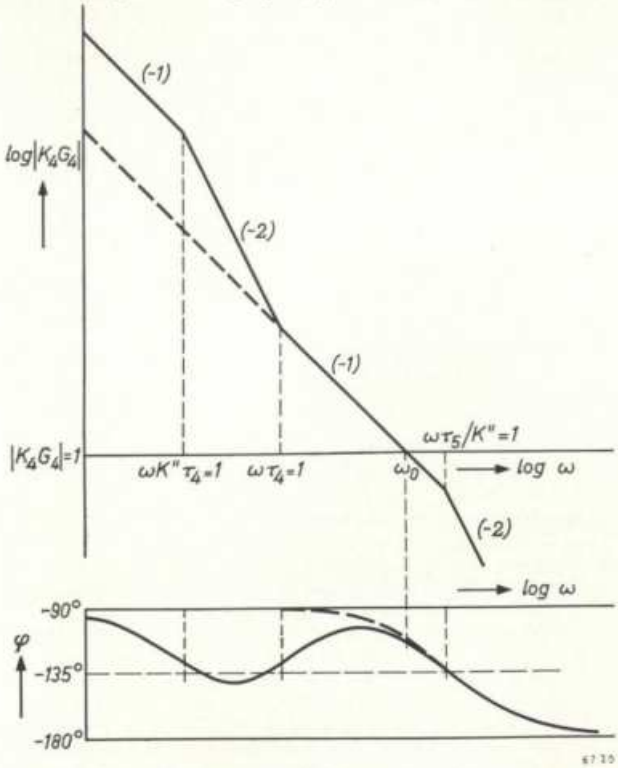


Fig. 22. Bode-diagram van elk der positievolgsystemen. De streeplijnen zouden gelden indien men uit de binnenlus (vgl. fig. 21) het hoog doorlatende filter zou weglaten. Met filter is, bij gelijkblijvende bandbreedte, de versterking voor lage frequenties groter en de volgfout van de systemen derhalve kleiner.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

en de volgfout van de systemen dienovereenkomstig verkleind [9]) zonder dat de bandbreedte groter is geworden, d.w.z. zonder dat de invloed van storingen is toegenomen.

Neemt men in aanmerking dat $K''\tau_4 \gg \tau_5/K''$ en $K'''\tau_4 \gg 1$, dan kan men voor de uit (16) afgeleide formule voor de overbrengingsverhouding K_4G_4 van de gesloten kring van het positievolgsysteem schrijven:

$$K_4G_4 = \frac{\overline{\Theta}_o}{\overline{\Theta}_r} = \text{const.}\ \frac{1 + j\omega\tau_4}{1 + j\omega\tau_4 - \omega^2\tau_4 K''/K''' - j\omega^3\tau_4\tau_5/K'''} . \quad . \ . \ . \quad (17)$$

Kiest men de versterking nu niet slechts zo dat ω_0 gelegen is tussen de knikpunten bij de frequenties waarvoor geldt $\omega\tau_4 = 1$ en $\omega\tau_5 = K''$, maar bovendien nog dusdanig dat ω_0 dichtbij laatstgenoemde frequentie ligt, en is tevens voldaan aan de eis $\omega_0\tau_4 \gg 1$, dan kan men de derdegraadsvorm in de noemer van vergelijking (17) bij benadering voorstellen als produkt van de factoren: $[1 + j\omega\tau_4(1 - K''/K'''\tau_4)]$ en $[1 + j\omega K''/K''' - (1 + K''/K'''\tau_4)\tau_5\omega^2/K''']$. Men kan dan (17) vereenvoudigen tot:

$$K_4G_4 = \text{const.}\ \frac{1 + j\omega\tau_4}{[1 + j\omega\tau_4\,\tau_5/K'''\tau_6^2]\,[1 + 2\,\zeta\,j\omega\tau_6 - \omega^2\tau_6^2]} \quad . \ . \ . \ . \quad (18)$$

waarin $K'''\tau_6^2 = \tau_5(1 + K''/K'''\tau_4)$ en $2\zeta = K''/K'''\tau_6$. Voorts is $\tau_6 \approx \omega_0^{-1}$.

Uit de veronderstelling $\tau_6 \approx \tau_5/K''$ en $\tau_4 \gg \tau_6$ volgt dat $\tau_5/K'''\tau_6^2 \approx 1$ is, zodat wij in ons geval, althans voor de stabiliteitsbeschouwing, de eerste factor van de noemer kunnen laten wegvallen tegen de teller. De formule voor G_4 gaat op deze wijze over in:

$$G_4 = \frac{1}{1 + 2\zeta\,j\omega\tau_6 - \omega^2\tau_6^2} . \quad . \ . \ . \ . \quad (19)$$

(In de praktijk verkiest men het geval met twee toegevoegd complexe wortels boven het andere omdat dan het systeem niet aperiodiek gedempt is maar een uitslingerverschijnsel vertoont. Indien men hierbij het doorschot („overshoot") binnen zekere grenzen weet te houden, verkrijgt men een snellere responsie.)

Het bundelpatroon van de lantaarn

De overbrengingsverhouding (1) van de gehele isocandelaschrijver bevat de factor K_E, de gradiënt van de verlichtingssterkte in het punt van de lichtvlek op het scherm waar zich de fotocel bevindt. De reden hiervan is snel in te zien. Het signaal dat door de fotocel wordt afgegeven bij een kleine positieverandering $\Delta\Theta_o$ (verg. 17) van de lantaarn, is evenredig met de verandering ΔE van de verlichtingssterkte, d.w.z. met het produkt van de positieverandering en van de gradiënt K_E. De verhouding $\Delta E/\Delta\Theta_o$, de enige overbrengingsverhouding die ons nog ontbrak, is dus gelijk aan K_E. In fig. 7 zagen we reeds hoezeer de waarde van K_E langs één isoluxlijn kan schommelen.

[9]) Zo goed als bij een proportionale regelaar (vgl. blz. 80 van het eerste en blz. 114 van het tweede in [4]) aangehaalde artikel) de statische afwijking afneemt naarmate $KG(0)$ groter is, wordt bij een servosysteem als het onderhavige de volgfout kleiner als men de versterking opvoert. Men heeft hier een voorbeeld van een van de methodes ter verbetering van een regelkring die besproken zijn in het tweede in noot [4]) aangehaalde artikel. Het hoog doorlatende filter in de terugkoppeling heeft nl., naar men kan aantonen, hetzelfde effect als een „phase-lag network".

De overbrengingsverhouding van de gehele kring

Nu de overbrengingsverhoudingen van alle elementen van de isocandelaschrijver zijn afgeleid, kunnen we de overbrengingsverhouding KG van de gehele kring opschrijven. De factoren die niet van ω afhangen, zullen we daarbij, voor zover ze constant zijn, niet expliciet vermelden, de twee andere, K_E en R_p (de inwendige lekweerstand van de fotocel) wel. Aldus vinden we:

$$KG = \text{const.}\ K_E R_p\ \frac{1}{1 + j\omega\tau_2}\ \frac{1 + j\omega\tau_3}{(j\omega\tau_0)^2}\ \frac{1}{1 + 2\zeta j\omega\tau_6 - \omega^2\tau_6^2} . \quad . \ . \ . \quad (20)$$

Hierin waren dus, behalve de reeds genoemde grootheden:

τ_2 de tijdconstante van de stuurmotor (met tachogeneratorterugkoppeling): $\tau_2 = J_m/(f_1 + K_mK_t)$,

τ_3 het quotiënt a/v van de afstand as-raakpunt en de omtreksnelheid van het loopwieltje,

τ_6 de reciproke waarde van de frequentie ω_0 waarboven de versterking van de positievolgsystemen beneden één daalt.

Zoals reeds werd vermeld, mag voor de stabiliteitsbeschouwing de gecompliceerde volledige formule voor KG aanmerkelijk vereenvoudigd worden. Een belangrijke vereenvoudiging brachten we al aan met de herleiding van (17) tot (19). Er is echter nog een vereenvoudiging mogelijk. De tijdconstante τ_2 is nl. zo klein dat de frequentie ω_2 $(=1/\tau_2)$ aanmerkelijk groter is dan ω_0. De invloed ervan op het deel van het Bode-diagram dat voor de stabiliteitsbeschouwing van belang is, kan derhalve verwaarloosd worden. (Door de kleinheid van τ_2 sterft ook de bijdrage van τ_2 tot een overgangsverschijnsel zeer snel uit.)

De vereenvoudigde vorm van (20) waarmee we voor het stabiliteitsonderzoek mogen volstaan, en die in een voorgaand hoofdstuk reeds voorkwam als verg. (1), luidt dus:

$$KG \approx \text{const.}\ K_E R_p\ \frac{1 + j\omega\tau_3}{(j\omega\tau_0)^2\{1 + \zeta j\omega\tau_6 - \omega^2\tau_6^2\}} .$$

De stabiliteitsbeschouwing zelf hebben we reeds daar ter plaatse gegeven.

Samenvatting. Het lichtverdelingspatroon (schaar van isocandelakrommen) van een bundellicht bepaalt men in principe door lijnen van constante verlichtingssterkte (isoluxlijnen) te zoeken op een vóór de lantaarn geplaatst scherm. De punten van zulk een lijn corresponderen met richtingen van constante lichtsterkte van de lantaarn. Beschreven wordt een apparaat dat deze isoluxkrommen, ca. 30× verkleind, automatisch optekent. Hierbij verplaatst de lichtdetector (een keerlaagfotocel) zich niet over een scherm, maar wordt de stand van de lantaarn gevarieerd. Het gehele apparaat is te beschouwen als een gesloten regelkring. Het aandrijvende element ervan is een eenwielig „wagentje", dat de trommel waarop zich het registreerpapier bevindt, om zijn as doet draaien en een pen in de richting van die as doet verschuiven. De positie van de pen op het papier wordt door positievolgsystemen (elektrische assen) overgebracht op de lantaarn. Het signaal van de fotocel, verminderd met het referentiesignaal, voedt, na versterking, de motor die het wagentje bestuurt. Door de terugkoppeling die er, via de stuurmotor, de wagen en de trommel, bestaat tussen de fotocel en de lantaarn, wordt er automatisch voor gezorgd dat slechts die posities van de lantaarn, en derhalve ook van de pen op het papier, kunnen optreden waarvoor de verlichtingssterkte de ingestelde waarde heeft. De pen schrijft derhalve de isoluxkromme voor die waarde.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!